



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

## **Enrolamento e corte de anéis de aço: otimização do processo**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

**Autor**

**João Pedro Ramos Teles Dantas**

**Orientadores**

**Professor Doutor Bruno Trindade**

**Engenheiro Luís Nascimento**

**Júri**

<b>Presidente</b>	<b>Professor Doutor Albano Cavaleiro</b> Professor Catedrático da Universidade de Coimbra
<b>Vogal</b>	<b>Professora Doutora Marta Oliveira</b> Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra
<b>Orientador</b>	<b>Eng. Luís Nascimento</b> Engenheiro na empresa Mahle

**Colaboração Institucional**

---



**MAHLE – COMPONENTES DE MOTORES, S.A.**

**Coimbra, Março de 2015**



Aos meus pais, avós e irmã



## Agradecimentos

Na realização desta dissertação de mestrado, houve uma contribuição enorme de diversas pessoas, às quais estarei sempre grato. Sem o apoio e colaboração destas pessoas não seria possível.

Aos meus pais, pelo apoio que sempre demonstraram e pela oportunidade que me deram porque sem eles nada disto seria possível.

Aos meus avós e irmã, por sempre acreditarem em mim e pelo apoio demonstrado.

Ao orientador do estágio, Engenheiro Luís Nascimento por todo o conhecimento que me transmitiu, pela forma como me pôs a par de toda a envolvente na empresa e pela confiança demonstrada ao longo deste estágio.

Ao orientador do DEM, Professor Doutor Bruno Trindade pela disponibilidade e pela forma como me demonstrou a melhor forma para a realização desta dissertação.

À equipa de pessoas (engenheiros e operadores), que conviveram comigo, que sempre tiveram a disponibilidade para o esclarecimento de dúvidas e pela colaboração na realização deste trabalho.

À Mahle Componentes de Motores S.A. Portugal, pela oportunidade que me deu para a realização deste estágio.

A todos estes que referi um profundo e sincero “muito obrigado”.



## Resumo

Este projeto foi desenvolvido na Mahle Componentes de motor S.A. de Portugal, onde são produzidos anéis de pistão (segmentos), e teve como objetivo a otimização do diâmetro de processamento do anel *I-Shaped* com perfil *V-form* de forma a melhorar a sua circularidade e a cota h55 junto às pontas.

Para tal, procedeu-se à alteração da cota do diâmetro final, em função dos valores teóricos obtidos por uma folha de cálculo própria para este tipo de anel. Esta alteração tem uma maior relevância na fase inicial do processamento do anel, mais propriamente na fase do enrolamento e corte. Para avaliar eventuais alterações significativas na dimensão do perfil, recorreu-se ao laboratório de metrologia da Mahle

Na análise dos resultados, verificou-se uma melhoria da cota h55 nas extremidades do anel. A nível de circularidade, verificou-se uma melhoria ao longo do perímetro do anel. Os resultados obtidos nas extremidades foram inconclusivos.

Neste estágio foram ainda efetuadas atividades paralelas com o intuito de identificar e resolver alguns problemas existentes na linha de produção do anel de aço.

**Palavras-chave:** Enrolamento, H55, Circularidade, Anéis, I-Shaped, V-form.





## Abstract

This project was developed in Mahle Components of Motor S.A of Portugal, where piston rings are produced and had as objective optimizing the diameter processing of I-Shaped ring with V-form profile in order to improve the circularity and the quota h55 in the ends of the ring.

With this purpose, the dimension of the final diameter was changed, depending on the theoretical values obtained by a separate worksheet for this type of ring. This change has a great relevance in the initial phase, more specifically in the coil and cutting of the ring. The evaluation of changes in the dimension of the profile was performed at the metrology laboratory of Mahle.

The results showed an improvement in quota h55 at the ends of the ring. Concerning circularity, the results obtained in the ends of the ring are inconclusive, but the circularity along the ring circumference was improved.

Parallel activities in the line of steel ring were carried out in order to identify and solve some current problems in the production line.

**Keywords:** coil, H55, circularity, rings, I-shaped, V-form.



---

## Índice

Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tabelas .....	xiii
Simbologia e Siglas .....	xv
Simbologia.....	xv
Siglas .....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
Empresa .....	2
1.1. Características dos anéis produzidos .....	3
1.1.1. Tipos de Anéis .....	3
1.1.2. Funções dos anéis .....	4
1.1.3. Matéria-prima utilizada para produção dos anéis.....	5
1.1.4. Nomenclatura dos anéis produzidos.....	7
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	11
2.1. Tensões do material .....	12
2.2. Deformações elásticas e plásticas .....	13
2.2.1. Microplasticidade .....	13
2.2.2. Domínio plástico e elástico.....	13
2.3. Encruamento do material .....	15
3. PROCESSO DE MANUFATURA DO ANEL I-SHAPED EM ESTUDO .....	17
3.1. Enrolamento e corte .....	17
3.1.1. Fator F8 e coordenadas de enrolamento .....	18
3.1.2. Etapas de Setup da máquina de enrolamento e corte.....	19
3.1.3. Processo de enrolamento e corte .....	22
3.2. Alívio de tensões.....	24
3.3. Retificação lateral .....	24
3.4. Bombeamento .....	25
3.5. Nitruração .....	26
3.6. Escovamento interno.....	26
3.7. Escovamento externo .....	27
3.8. Retificação de perfil.....	27
3.9. Retificação de topo .....	28
3.10. Gravação a laser .....	28
3.11. Montagem de mola.....	29
3.12. Inspeções finais .....	29
4. CASO EM ESTUDO.....	31
4.1. Problema Inicial .....	31
4.2. Soluções possíveis para resolução .....	31
4.3. Procedimento em estudo .....	32
4.3.1. Levantamento e tratamento de dados .....	32

4.3.2. Produção das OPA's teste .....	33
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS .....	37
5.1. Análise da Cota h55 .....	37
5.2. Análise da circularidade .....	40
6. ATIVIDADES PARALELAS.....	47
6.1. Levantamento de dados sobre velocidade de avanço para a mesa da máquina de corte .....	47
6.2. Alteração da guia de entrada para a máquina de enrolamento <i>I-Shaped</i> .....	48
6.3. Realização de um plano de ação/reação para o forno de Alívio de tensões .....	48
6.4. Definição dos programas da mufla para nova tecnologia de anel .....	49
6.5. Começo da implementação da tecnologia S.M.E.D .....	49
6.6. Criação de Norma e alteração de IP's .....	50
7. CONCLUSÕES.....	53
7.1. Trabalho futuro e balanço do estágio .....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
ANEXO A.....	57
ANEXO B .....	61
ANEXO C .....	63
ANEXO D.....	67
ANEXO E .....	69
ANEXO F.....	71
ANEXO G.....	73

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Mahle Murtede.....	3
Figura 2 -Tipo de anéis e a sua localização no pistão .....	4
Figura 3 - Função dos anéis.....	5
Figura 4 - Nomenclatura (folga, altura e radial).....	8
Figura 5 - Nomenclatura (faces e chanfros) .....	8
Figura 6 - - Nomenclatura (h55 e cota off-set).....	9
Figura 7 - Esquema de funcionamento da máquina de enrolamento [5].....	11
Figura 8 - Distribuição de tensão ao longo da fita [7].....	12
Figura 9 - Exemplificação do corte da bobine na maquina de enrolamento [8].....	12
Figura 10 - Deformação elástica [9].....	13
Figura 11 - Deformação plástica [9].....	13
Figura 12 - Curva tensão-deformação de um material metálico .....	14
Figura 13 - Encruamento isotrópico [16] .....	15
Figura 14 - Encruamento cinemático [16].....	16
Figura 15 - Esquema do processo do Anel I-shaped .....	17
Figura 16 - Esquema de conformação inicial .....	18
Figura 17 - Esquema de conformação final.....	18
Figura 18 - (a) rolo de fita de aço (b) rolo condicionado no desbobinador (c) amostra de fita.....	19
Figura 19 - Controlador PLC da Enroladora .....	20
Figura 20 - (a) Troca dos roletes (b) Troca dos rolos de arrasto .....	20
Figura 21 - Componentes da Enroladora.....	21
Figura 22 - Medição da diferença de faces.....	21
Figura 23 - (a) Camisas de corte (b) Controlador PLC .....	22
Figura 24 - Processo de enrolamento e corte.....	23
Figura 25 - (a) Cesto (b) Forno de Alívio de tensões .....	24
Figura 26 - (a) Retificadora Lateral (b) Esquema de trabalho.....	25
Figura 27 - (a) Esquema de funcionamento (b) Face de trabalho .....	25
Figura 28 - Forno de nitruração.....	26
Figura 29 - (a) Máquina de escovamento interno (b) Face de trabalho.....	27

Figura 30 - Escova abrasiva e face de trabalho no anel .....	27
Figura 31 - (a) Retificadora de perfil (b) Face de trabalho .....	28
Figura 32 -(a) Retificadora de topo (b) Face de trabalho .....	28
Figura 33 - Gravação a laser .....	29
Figura 34 - (a) Anel com mola (b) Procedimento de montagem .....	29
Figura 35 - Esquema de soluções possíveis .....	32
Figura 36 - Folha de cálculo para determinar o novo diâmetro de processo .....	33
Figura 37 - (a) Perfilómetro Surfcom 1800D (b) Varrimento da ponta .....	34
Figura 38 - Exemplo da medição de um anel .....	34
Figura 39 -(a) Aparelho "erro de forma" (b) Medição da circularidade .....	35
Figura 40 - Exemplo da medição de um anel .....	35
Figura 41 - Valores do "Baseline" a 5 <sup>o</sup> , 180 <sup>o</sup> e 355 <sup>o</sup> .....	38
Figura 42- Valores do "Teste 1" a 5 <sup>o</sup> , 180 <sup>o</sup> e 355 <sup>o</sup> .....	39
Figura 43 - Valores do "Teste 2" a 5 <sup>o</sup> , 180 <sup>o</sup> e 355 <sup>o</sup> .....	39
Figura 44 - Gráficos de circularidade da baseline .....	41
Figura 45 - Gráficos de circularidade do teste 1 .....	42
Figura 46 - Gráficos de circularidade do teste 2 .....	44
Figura 47 - Circularidade média do anel representada no quadrado vermelho .....	44
Figura 48 - Valor de circularidade de cada anel e respetiva OPA .....	45
Figura 49 - Mesa de corte .....	47
Figura 50 - Guia que sofreu alteração .....	48
Figura 51 - Programas de mufla consoante o tipo de aço e anel .....	49
Figura 52 - Componentes da faca .....	50

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Aço inoxidável com 17% Cr (MS066-1) .....	6
Tabela 2 - Aço inoxidável com 13% Cr (MS065-2) .....	6
Tabela 3 - Diâmetro final de enrolamento.....	33
Tabela 4 - Valores de mediana nos diferentes pontos do anel .....	37
Tabela 5 - Valor médio de circularidade de cada OPA .....	45
Tabela 6 - Normas da ENA 02 .....	50
Tabela 7 - IP's modificadas .....	51





## **SIMBOLOGIA E SIGLAS**

### **Simbologia**

$\sigma$  – Tensão

$E$  – Módulo de Elasticidade

$\sigma_{ced}$  – Tensão de cedência

### **Siglas**

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

PVD – Physical Vapor Deposition

HDD – Heavy Duty Diesel

Cr - Crómio

OPA – Operação de Processamento de Anel (mais conhecido por lote)

PLC – Programmable Logic Controller

AN – Sigla utilizada para definir o anel em produção

CNC – Comando Numérico Computadorizado

SMED – Single Minute Exchange of Die

ENA 02 – Enroladora de Anel 2

IP- Instrução de Processo



## 1. INTRODUÇÃO

Com a industrialização presente nos dias de hoje, as empresas têm que ter, cada vez mais, a capacidade de se adaptar e desenvolver novos métodos de produção capazes de se destacar nos mercados atuais. Simultaneamente devem evoluir de forma a minimizar os custos e maximizar a eficiência na produção.

O presente trabalho reporta à otimização da cota h55 (faces de trabalho do anel com a camisa do pistão) e da circularidade dos anéis *I-Shaped* no processo de enrolamento e corte realizado na empresa Mahle, Componentes de Motores S.A. Para cativar as grandes marcas que utilizam este tipo de anéis, a empresa tenta estar sempre na vanguarda e para isso as peças em questão devem ter uma boa fiabilidade para que o tempo de vida seja comparável ao do próprio automóvel. Desta forma, o enrolamento do anel é uma das etapas críticas do processo, devendo o mesmo ser produzido dentro dos parâmetros exigidos pelos clientes. O processo de enrolamento é o primeiro de muitos na linha de produção e deve ter em consideração todos os processos seguintes para que no final esteja em perfeitas condições para ser comercializado.

Os anéis em estudo, são anéis *I-Shaped* com perfil *V-form*, fabricados em aços inoxidáveis martensíticos. São aplicados na terceira canaleta do motor e são designados por anéis de óleo. Eles contribuem para que a camisa do pistão tenha uma película de óleo constante, havendo uma lubrificação e um menor desgaste no conjunto das peças que funcionam em simultâneo (pistão e camisa do pistão). Tal proporciona uma melhor vedação entre a câmara de combustão e o cárter, induzindo um melhor rendimento do veículo (menor consumo de combustível e óleo lubrificante). Estes fatores conduzem a uma maior fiabilidade e um maior tempo de vida do motor do veículo, proporcionando ao consumidor final um menor custo de manutenção e uma satisfação que manterá a marca com uma boa reputação.

Um dos problemas atuais na produção destes anéis é a variação das suas dimensões na cota h55 e na circularidade junto às pontas, o que muitas vezes leva à sua rejeição. O objetivo do trabalho passa por modificar o diâmetro final de enrolamento do anel com o intuito de se obter uma melhor uniformidade das suas dimensões (cota h55 dentro dos

intervalos exigidos) e circularidade, o que implicará uma maior eficiência de produção, resultando numa diminuição de anéis rejeitados.

## **Empresa**

O grupo Mahle nasceu no ano de 1920, na Alemanha em Estugarda e foi fundado por dois irmãos Hermann e Ernst Mahle. No início começou como uma oficina de reparação e cresceu ao longo destes anos, tornando-se numa das 20 maiores empresas de fornecedores na indústria automóvel em todo o mundo. Com sede situada em Estugarda, o grupo tem fábricas localizadas por todo mundo (Brasil, México, Japão, Argentina, China, Estados Unidos e no continente Europeu).

Para este crescimento progressivo e consistente ao longo dos anos, o grupo conta com tecnologias de ponta e um grande desenvolvimento tecnológico que lhe permite melhorar continuamente os seus produtos e cativar a satisfação dos clientes. Para isso, conta com os seus centros tecnológicos localizados em Estugarda, Northampton, Detroit, São Paulo, Tóquio e Xangai.

Atualmente, o grupo, tem 65.000 trabalhadores e colaboradores espalhados por todo mundo. Os componentes principais produzidos pelo grupo são componentes para motores de combustão interna tais como pistões, anéis de pistão, filtros, bronzinas, árvores de cames, engrenagens, buchas, entre outros.

Em Portugal, o grupo Mahle adquiriu a empresa ao grupo Brasileiro Cofap no ano de 1997 passando por um processo de integração bem sucedido. Localizada na zona industrial de Murte de do concelho de Cantanhede e com uma área de cerca 83.000 m<sup>2</sup> (figura 1), emprega cerca de 650 trabalhadores. Dedicar-se exclusivamente ao fabrico de anéis de pistão para motores de combustão interna e tem uma capacidade de produção aproximada de 45 milhões de anéis por ano. A empresa possui uma linha de anéis de compressão, raspadores e de óleo para motores Diesel e Otto com diâmetros que variam entre os 60mm e os 150 mm. A matéria-prima usada para a produção dos anéis acima referidos é o ferro fundido cinzento, ferro fundido nodular e aço inoxidável.

A empresa têm adquirido ao longo dos anos uma reputação inquestionável a nível de padrões de qualidade e satisfação de clientes (líder na produção de anéis de aço

revestidos por PVD para motores HDD). Com uma boa reputação a nível mundial, a empresa possui parceria com grandes marcas do ramo automóvel.



Figura 1- Mahle Murtede [1]

## 1.1. Características dos anéis produzidos

### 1.1.1. Tipos de Anéis

Os anéis são peças de metal que, quando instaladas nos cilindros dos motores, tornam-se circulares e auto-expansíveis, proporcionando uma vedação móvel entre a câmara de combustão e o cárter do motor.

De uma forma mais simplificada pode-se afirmar que os anéis têm como funções:

- Vedar a câmara de combustão em relação ao cárter, impedindo que os gases da combustão e a pressão de compressão passem para o cárter.
- Transmitir o calor absorvido pela cabeça do pistão para as paredes do cilindro e destas para o sistema de arrefecimento.
- Controlar a lubrificação dos cilindros.

Para proceder as estas funções em simultâneo, existem três tipos de anéis (figura 2).

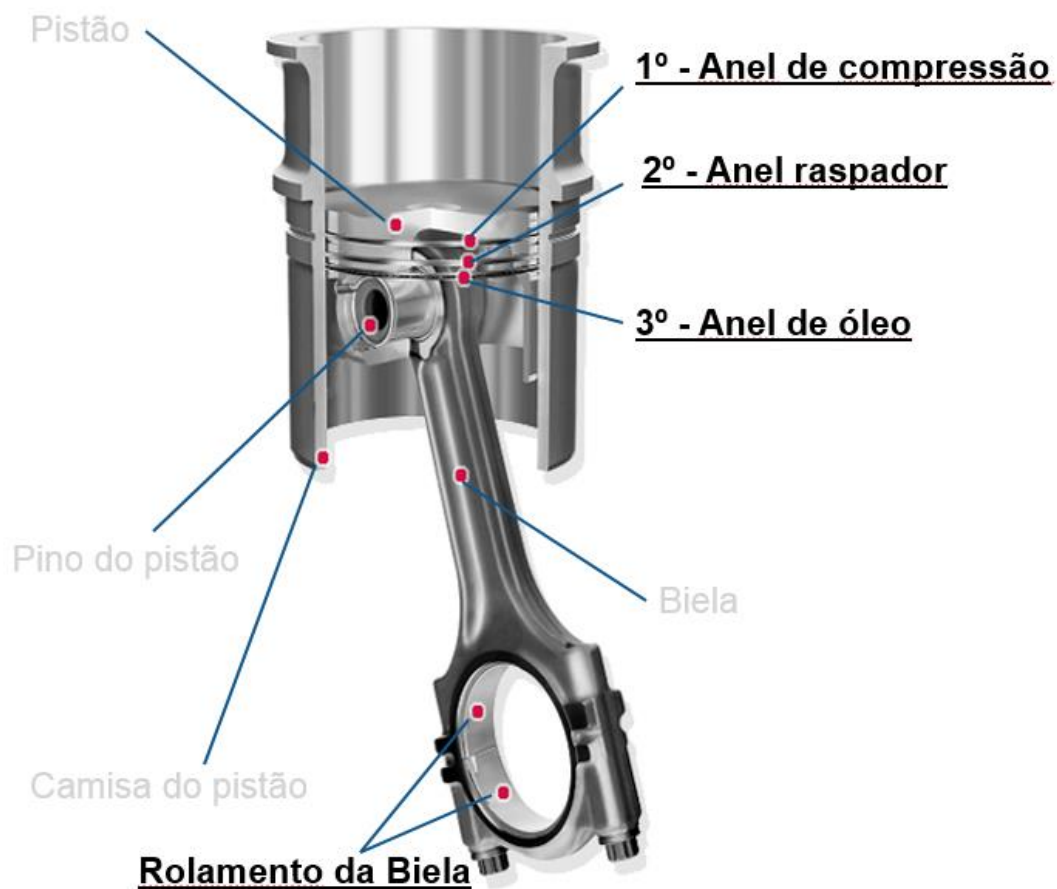


Figura 2 -Tipo de anéis e a sua localização no pistão [1]

## 1.1.2. Funções dos anéis

### 1.1.2.1. Anéis de compressão

Os anéis de compressão têm como função principal vedar a câmara de combustão, impedindo assim que os gases de combustão passem para o cárter do motor, através da folga entre o pistão e o cilindro, evitando com isso a perda de rendimento do motor e a contaminação do óleo lubrificante.

Além da vedação, outra tarefa importante que os anéis devem cumprir é impedir que o óleo lubrificante passe em excesso para a câmara de combustão e seja queimado, e ao mesmo tempo, deixar que uma fina película de óleo permaneça sobre a parede do cilindro para evitar um atrito “seco” dos anéis com o cilindro que poderia provocar micro soldadura (microwelding).

### 1.1.2.2. Anéis de óleo

A principal função destes anéis é remover o excesso de óleo para o cárter, assegurando assim uma película de óleo suficiente para lubrificar os anéis de compressão. Para exercer esta função adequadamente, é necessário possuírem uma boa conformidade de modo a manter uma alta pressão de contacto. Na figura 3 podemos observar um esquema sobre a função destes anéis.

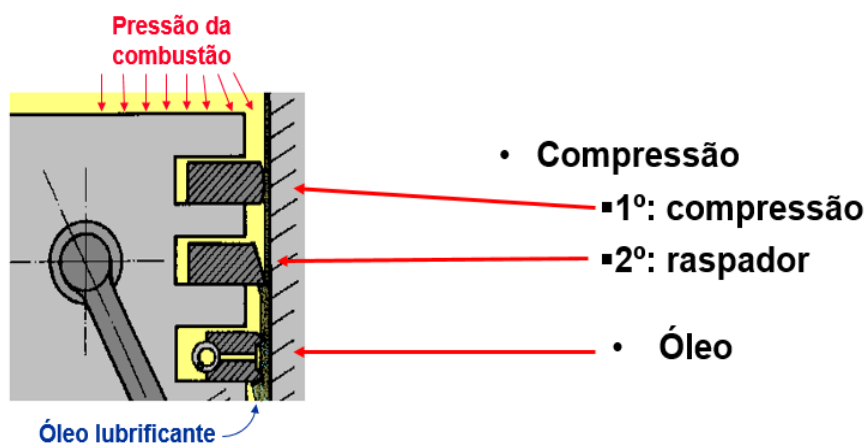


Figura 3 - Função dos anéis [1]

### 1.1.3. Matéria-prima utilizada para produção dos anéis

Como foi referido, para a produção de anéis a Mahle usa como matéria-prima o ferro fundido e aço inoxidável. O ferro fundido pode ser nodular ou cinzento, e é fornecido maioritariamente pelo próprio grupo, pois possui instalações de fundição para este tipo de produto, chegando à Mahle como produto bruto em forma de placa circular que depois é maquinado até atingir a altura e radial desejada para cada especificação de anel. O aço é fornecido em forma de fitas por colaboradores de confiança.

O material para o fabrico de um anel deve ter:

- Boa resistência à fadiga;
- Boa resistência ao desgaste;
- Boa resistência mecânica;
- Boa resistência à corrosão.

Os anéis de aço inoxidável produzidos pela Mahle têm uma composição química que está representada nas tabelas 1 e 2, um com 17% Crómio e outro com 13% Crómio respetivamente. O primeiro é utilizado para a produção de anéis de compressão (veículos pesados e ligeiros) enquanto que o segundo é utilizado para anéis óleo (*I-shaped*) [1].

**Tabela 1- Aço inoxidável com 17% Cr (MS066-1)**

Elements	Specification A	Specification B
C	0.80 – 0.95	0.80 -0.95
Si	0.50 max	0.30 – 0.55
Mn	0.25 – 0.40	0.25 – 0.50
P	0.040 max.	0.040 max
S	0.040 max.	0.040 max
Cr	17.0 – 18.0	17.0 – 18.0
Mo	1.00 – 1.25	0.70 – 1.15
V	0.08 – 0.15	0.05 – 0.10

A especificação A é a composição química mais utilizada na produção de anéis e a especificação B é utilizada para requisitos especiais.

**Tabela 2 - Aço inoxidável com 13% Cr (MS065-2)**

Elements	Specifications
C	0.60 – 0.75
Si	1.0 max
Mn	1.0 max
P	0.040 max.
S	0.040 max.
Cr	11.0 - 14.0
Mo	0.40 max



#### 1.1.4. Nomenclatura dos anéis produzidos

A nomenclatura é importante porque define os respectivos nomes apropriados para as diferentes partes e dimensões dos anéis. São as seguintes:

- Espessura radial – distância entre as faces externa e interna do anel (figura 4).
- Altura – distância entre faces laterais do anel (figura 4).
- Folga entre pontas – cota medida entre as extremidades do anel, quando instalado no cilindro do diâmetro correspondente (figura 4).
- Faces laterais – também designada por “face superior” e “face inferior”, são as partes do anel que ficam em contacto com as canaletas do pistão, paralela à cabeça do pistão (figura 5).
- Face interna – parte do anel que fica em contacto com a canaleta do pistão (figura 5).
- Face externa – também designada por “face de contacto”, é a parte do anel que fica em contacto com a parede da camisa do motor ou cilindro do motor (figura 5).
- Diâmetro nominal – diâmetro externo do anel quando ele está confinado no diâmetro do cilindro do motor.
- Força tangencial – força que o anel exerce sobre a camisa do pistão ao expandir-se quando instalado num cilindro do motor.
- Conformidade – capacidade que um anel tem para se adaptar ao cilindro do motor, ou seja, a face de trabalho do anel adapta-se às faces do respetivo cilindro em toda a sua circunferência.
- Cota off-set – diferença entre a face de trabalho inferior e superior, ou seja, é a diferença das faces. Esta cota aplica-se a todos os anéis de óleo de duas peças nomeadamente, anéis com perfil *V-form* e *X-taper* (figura 6).
- Cota h55 – medida da face de trabalho inferior e superior. Esta cota também se aplica a anéis de óleo de perfil em *V-form*, *X-taper* (figura 6).
- Circularidade – observar a circunferência do anel, define-se pela distância radial mínima entre duas circunferências concêntricas que contêm o conjunto dos pontos do perfil analisado [2].

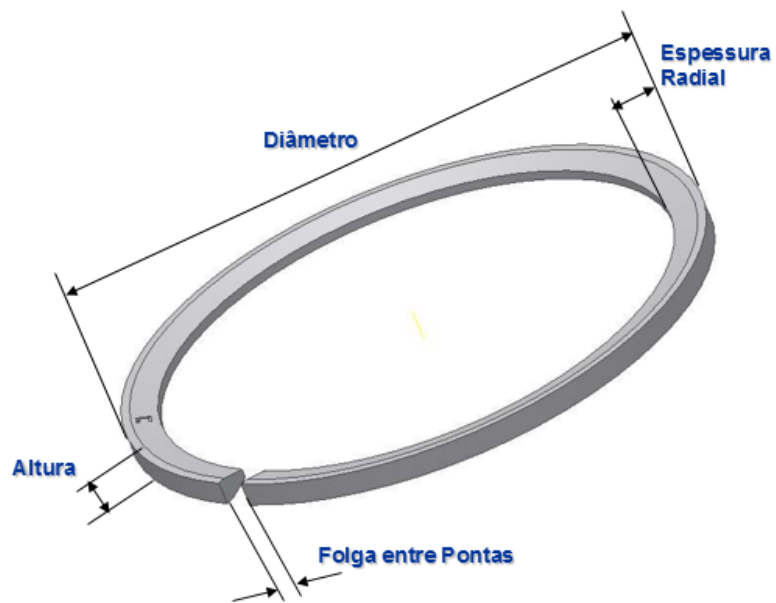


Figura 4 - Nomenclatura (folga, altura e radial) [1]

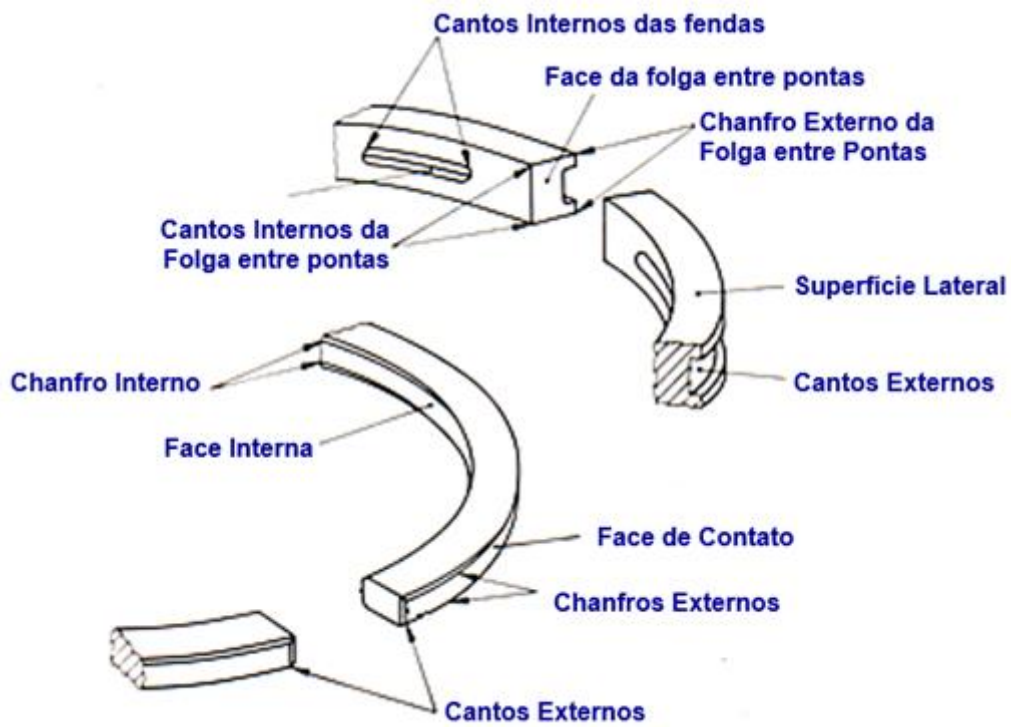


Figura 5 - Nomenclatura (faces e chanfros) [1]

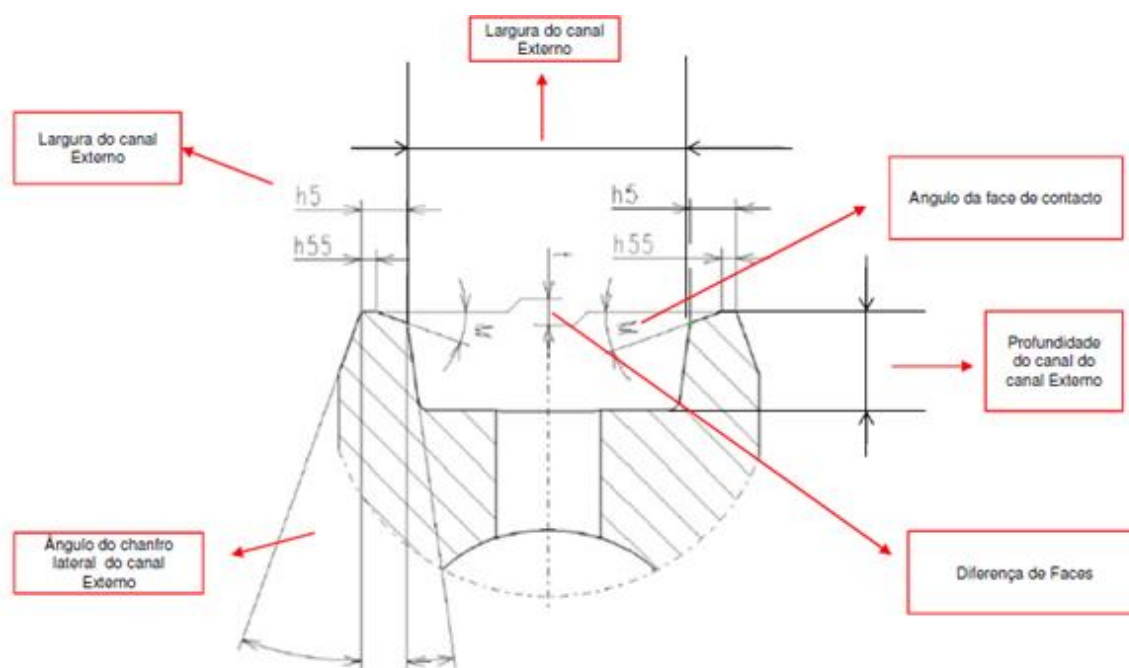


Figura 6 - Nomenclatura (h55 e cota "off-set").[1]



## 2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O enrolamento é o primeiro processo de fabrico do anel de aço, sendo de extrema importância já que confere a forma do anel. Consiste numa deformação ao longo da fita de aço, onde esta sofre uma tensão à medida que passa nos roletes (figura 7) [3]. Essa deformação ocorre no regime plástico, proporcionando uma determinada forma ao anel. A ocorrência de deformação plástica conduz a uma evolução microestrutural do material [4].

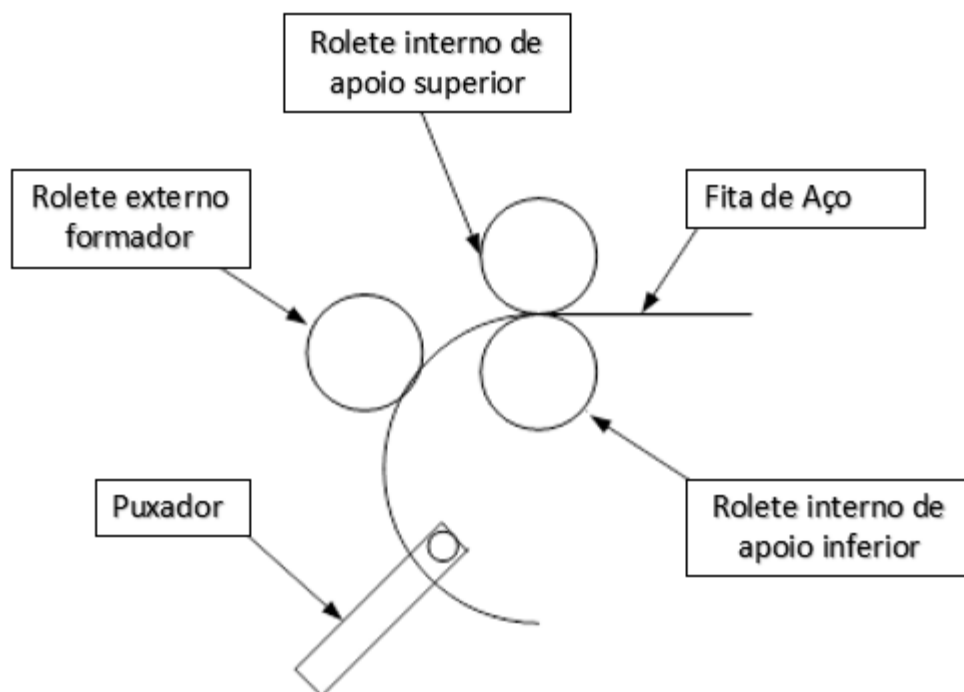


Figura 7 - Esquema de funcionamento da máquina de enrolamento [5]

Como foi referido anteriormente, o material sofre deformações através de esforços a que está submetido, pelo que será necessário entender alguns conceitos inerentes ao comportamento mecânico dos materiais:

- Tensões do material
- Deformação elástica e plástica
- Encruamento do material

## 2.1. Tensões do material

É designada por tensão uma força por unidade de área e pode ser de vários tipos (tensão de tração, compressão, corte e torção) dependendo da orientação da força. No caso em estudo, a fita ao sofrer o carregamento causado pelo rolete externo vai estar sujeito a uma distribuição de tensões (figura 8). Na parte de cima da fita existe uma tensão positiva (tração) e na parte de baixo uma tensão negativa (compressão) [6].

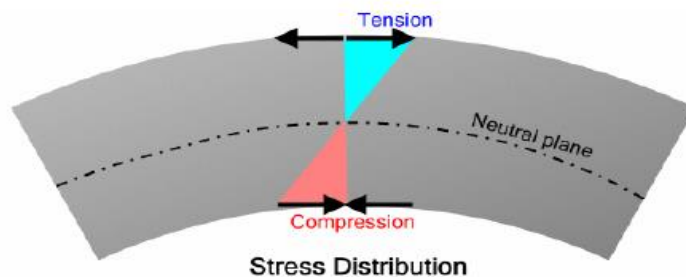


Figura 8 - Distribuição de tensão ao longo da fita [7]

Após este processo, o corte da fita é realizado por uma tesoura que aplica uma força cuja componente tangencial origina uma tensão de corte à sua superfície (figura 9). Esta tensão é gerada por forças aplicadas em sentidos opostos, mas com direções semelhantes.

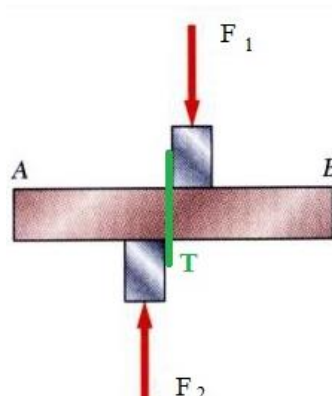


Figura 9 - Exemplificação do corte da bobine na máquina de enrolamento [8]

## 2.2. Deformações elásticas e plásticas

### 2.2.1. Microplasticidade

Aplicando um sistema de forças a um corpo este vai sofrer uma extensão, deformando-se. Assim sendo, a deformação pode ser dividida em dois tipos principais: elástica e plástica.

A deformação elástica (figura 10) consiste numa movimentação das ligações inter-atómicas quando é aplicada uma força. Quando a força deixa de atuar os átomos voltam à sua posição inicial, não ocorrendo uma deformação permanente.

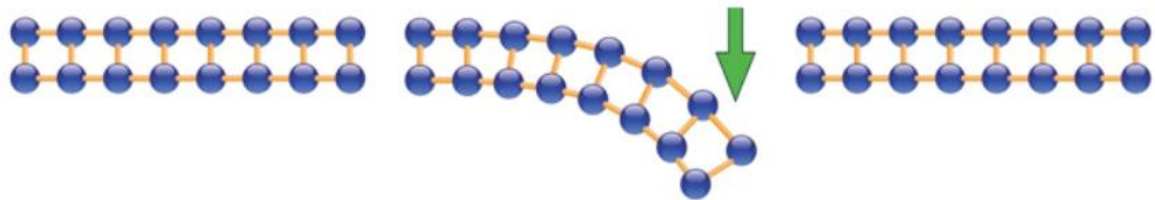


Figura 10 - Deformação elástica [9]

A deformação plástica (figura 11) acontece através do deslizamento dum plano de átomos que sofre uma tensão de corte aplicada numa direção paralela ao plano. Com este deslocamento, as ligações inter-atómicas são destruídas, havendo formação de novas ligações que corresponde à deformação permanente do material [10].

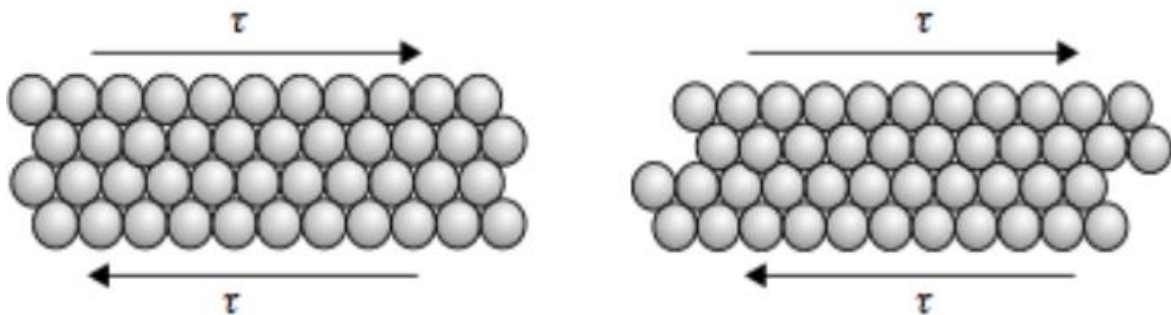


Figura 11 - Deformação plástica [9]

### 2.2.2. Domínio plástico e elástico

Os materiais metálicos caracterizam-se por apresentarem um domínio elástico e um domínio plástico. A relação entre tensões e deformações, para um determinado material, é avaliada por meio de um ensaio de tração real ou convencional. Nestes ensaios, aplica-se

um esforço uniaxial na extremidade de um provete normalizado. No final do ensaio obtém-se um gráfico onde é registada a relação entre a tensão e a deformação (figura 12).

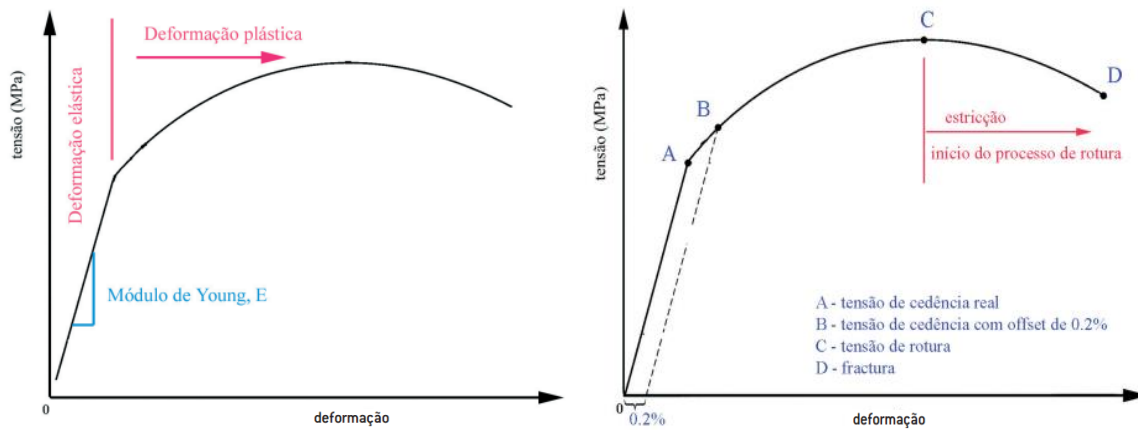


Figura 12 – Curva convencional da tensão-deformação de um material metálico

A primeira parte da curva em que a tensão varia linearmente com a deformação/extensão corresponde à deformação elástica do material. Este regime caracteriza-se pela total reversibilidade da deformação, ou seja, este recupera a sua forma original após o alívio da tensão. Para esta parte inicial do diagrama, a tensão é diretamente proporcional à extensão e pode escrever-se:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Esta relação é conhecida por lei de Hooke, em memória do matemático Inglês Robert Hooke (1635-1703). O coeficiente  $E$  é denominado por módulo de Young, em memória do cientista Inglês Thomas Young (1773-1829) [11].

A tensão máxima a que o material pode ser submetido em regime elástico designa-se por tensão de cedência,  $\sigma_{ced}$ . Uma vez ultrapassada essa tensão o material entra em regime de deformação plástica, ou seja, um regime em que a deformação é permanente. Neste domínio, a secção da curva de tração caracteriza-se por uma variação não linear, permitindo diferenciar os dois regimes [12]. Apesar da variação não ser linear, há um aumento de deformação que implica um aumento de tensão. Daqui resulta o denominado encruamento do material, que consiste num aumento da tensão necessária para que o metal continue a sua deformação plástica. A tensão vs deformação de um material chega a um máximo que se denomina por resistência à tração. A partir desse máximo o material dá início



ao processo de rotura, começando a apresentar microfissuras que culminam na sua fratura [13].

No processo de enrolamento pretende-se que o material sofra uma deformação plástica, num regime acima da tensão de cedência e abaixo da resistência à tração, sofrendo um processo de encruamento responsável pelo aumento de dureza e resistência mecânica.

### 2.3. Encruamento do material

A deformação plástica induz um aumento de deslocações na rede cristalina dos materiais, responsável pelo encruamento do material [14].

Este fenómeno pode ser dividido em duas classes principais:

- Encruamento isotrópico
- Encruamento cinemático

No denominado encruamento isotrópico (figura 13), a superfície de plasticidade/cedência é obtida através de uma expansão uniforme da superfície inicial, onde não há alteração da sua forma e da sua origem, ou seja, os centros dessas superfícies são coincidentes. Este modelo despreza o efeito de Bauschinger, que consiste na inversão da trajetória observável numa curva tensão – deformação quando sofre um carregamento, ou qualquer outro efeito. Este é um modelo muito simples não conseguindo demonstrar alguns comportamentos reais do material. [15]

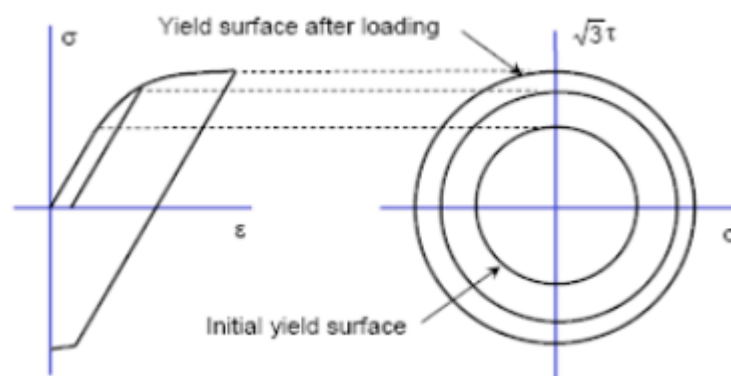


Figura 13 - Encruamento isotrópico [16]

No encruamento cinemático (figura 14), a superfície de plasticidade desloca-se no espaço de tensões sem alteração de forma e tamanho, ou seja, é transladada para cima ou para baixo mudando a sua coordenada de origem. Este modelo considera o efeito de Bauschinger presente no carregamento. Este tipo de encruamento, ao contrário do anterior, é resultado de carregamentos cíclicos e alternados [8].

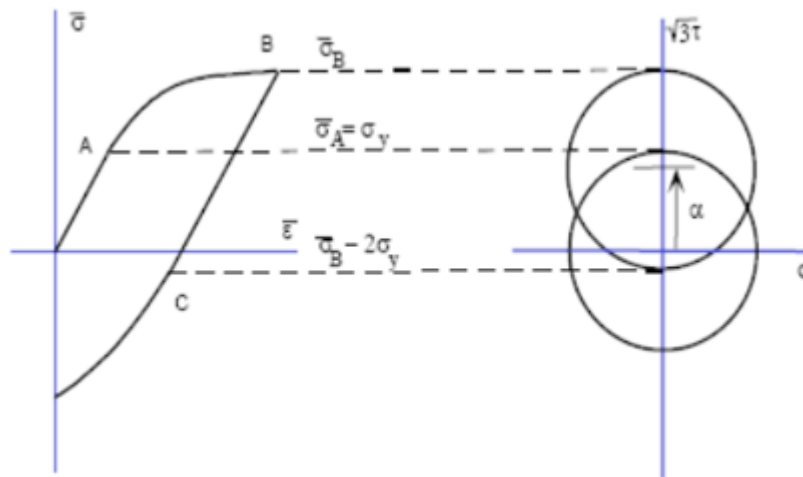


Figura 14 - Encruamento cinemático [16]

### 3. PROCESSO DE MANUFATURA DO ANEL I-SHAPED EM ESTUDO

O anel *I-Shaped* com perfil *V-form* sofre uma série de procedimentos, desde a matéria-prima (fita de aço) até ao produto final (anel), que estão representados no esquema da figura 15.



Figura 15 - Esquema do processo do Anel *I-shaped*

#### 3.1. Enrolamento e corte

Este processo é um dos mais importantes na produção de anéis e há que ter em conta todos os restantes processos da cadeia de produção, para que o produto final esteja dentro dos parâmetros exigidos.

### 3.1.1. Fator F8 e coordenadas de enrolamento

Este fator está relacionado com a regulação da máquina e define o diâmetro inicial a ser enrolado somente com o rolete externo (sem atuação do puxador) para obter a correta conformação inicial (figura 16). Este fator é calculado empiricamente e está relacionado com o encruamento da matéria-prima utilizada.

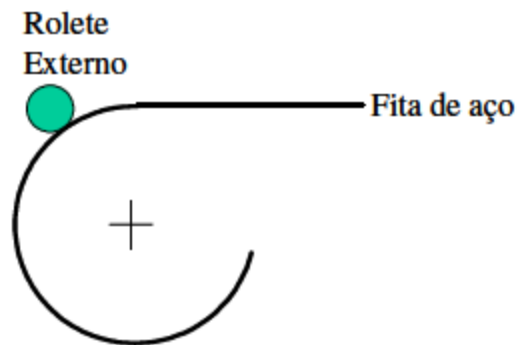


Figura 16 - Esquema de conformação inicial

**Aplicação:**

$$D_{inicial} = D_{final} \times F_8$$

**Diâmetro inicial:**

A posição do rolete externo é calculada através de um ábaco que dá as coordenadas segundo  $X_1$  e  $Y_1$ , dependendo do diâmetro do anel em questão.

**Diâmetro final:**

O diâmetro final vai ser obtido através da atuação do puxador (figura 17), conferindo-lhe a forma final. A posição do puxador para a coordenada  $Y_2$  é 20 % acima do raio final do anel.

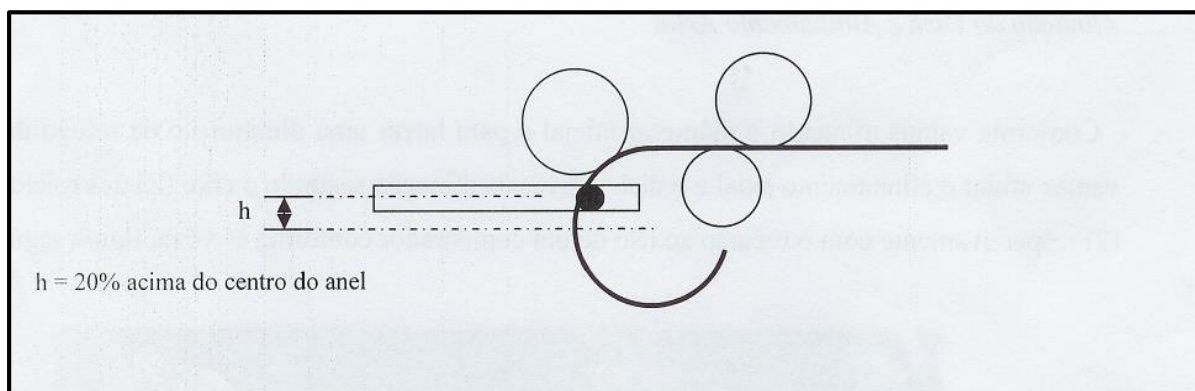


Figura 17 - Esquema de conformação final

Essa percentagem para a coordenada  $Y_2$  é calculada pela seguinte fórmula:

$$Y = \frac{D_{final}}{2} \times 0,8$$

A coordenada  $X_2$  calcula-se através de tentativa-erro até se obter o diâmetro final, já que não existe nenhuma relação que seja aplicável.

### 3.1.2. Etapas de Setup da máquina de enrolamento e corte

Na fase de enrolamento e corte existem procedimentos de *setup* importantes, de maneira a que haja um padrão *standard* de OPA para OPA. De seguida são apresentadas as etapas fulcrais para a realização do processo.

#### 3.1.2.1. Etapa 1

Na primeira etapa é efetuado o acondicionamento do rolo de fita de aço no desbobinador (figura 18 (a) e (b)). São retirados pela auditoria de receção cerca de 30 centímetros de fita (figura 18 (c)) de cada lote e enviado para laboratório a fim de se verificar se a mesma se encontra de acordo com as especificações (dimensionais e metalográficas).



Figura 18 - (a) rolo de fita de aço (b) rolo condicionado no desbobinador (c) amostra de fita

### 3.1.2.2. Etapa 2

Esta etapa diz respeito à parametrização do PLC da máquina de enrolamento (figura 19). Aqui é definido o comprimento de fita para o enrolamento da bobine, número de bobines a enrolar, velocidade da máquina (rpm), etc.



Figura 19 - Controlador PLC da Enroladora

### 3.1.2.3. Etapa 3

Nesta etapa acontece a troca de roletes e rolos de arrasto (figura 20) se for necessário, dependendo da altura de fita utilizada de OPA para OPA. De seguida a fita de aço é introduzida entre os roletes e os rolos de tração. Os rolos de arraste tem uma pressão de cerca de  $1,5 \pm 0,5$  bar sobre a fita e o esmagamento não deve exceder os 0,03 milímetros.



Figura 20 - (a) Troca dos roletes (b) Troca dos rolos de arrasto

### 3.1.2.4. Etapa 4

Trata-se da afinação da máquina através das coordenadas estipuladas para cada tipo de anel. Primeiro afina-se a máquina para o diâmetro inicial através do rolete externo formador e depois com a ação do puxador afina-se para o diâmetro final. À medida que a máquina é afinada, é medido o diâmetro do anel até estar dentro dos valores estipulados. A margem de intervalo aceitável é de cerca de 20 centésimos no diâmetro final. Na figura 21 estão representados os componentes da enroladora.

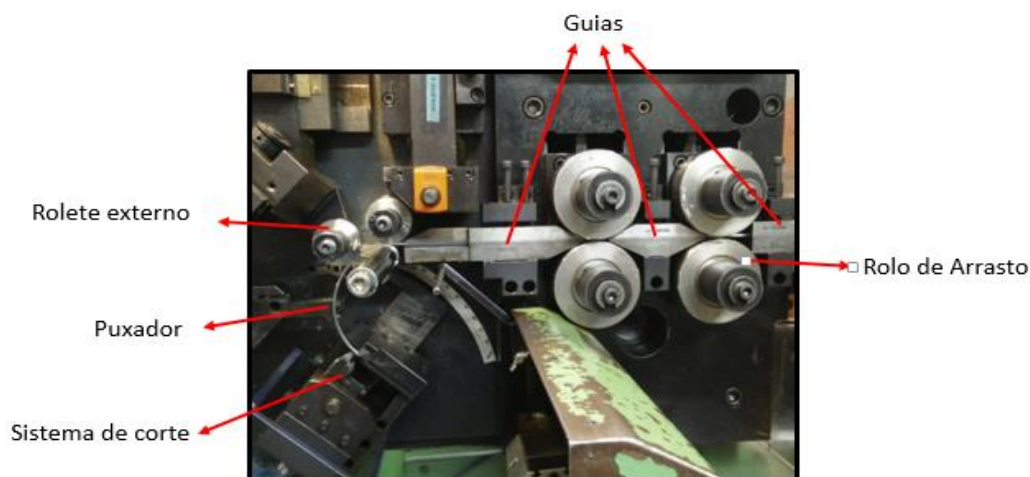


Figura 21 - Componentes da Enroladora

### 3.1.2.5. Etapa 5

Nesta etapa procede-se à verificação das características do anel tais como diâmetro, alinhamento axial das pontas, diferença de faces e espessura da radial. A diferença de faces não deve exceder os 0,010 mm e deve ser medida no dispositivo mecânico de medição de perfil (figura 22). Se houver uma grande discrepância nos resultados é porque a fita está a sofrer um esmagamento ou torção quando é enrolada.

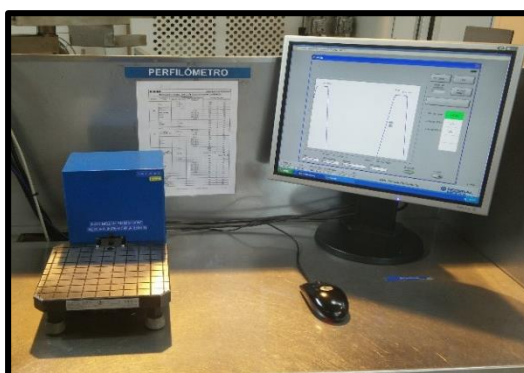


Figura 22 - Medição da diferença de faces

### 3.1.2.6. Etapa 6

Após todos os procedimentos na máquina de enrolamento, segue-se a máquina de corte. Aqui há que selecionar a camisa de corte dependendo do tipo de anel (figura 23 (a)). A afinação da máquina de corte ocorre introduzindo no PLC a referência do tipo de anel definido (figura 23 (b)).



Figura 23 - (a) Camisas de corte (b) Controlador PLC

### 3.1.3. Processo de enrolamento e corte

Com o *setup* finalizado e as máquinas afinadas, o operador começa o processo de enrolamento. Numa fase inicial, a fita de aço é enrolada em bobine e separada da restante fita através de uma faca de corte. Depois, a bobine é introduzida numa camisa de corte e, através de um disco de diamante, realiza-se o corte, desagregando a bobine em anéis individuais. Após o corte, o operador verifica se o anel tem rebarba ou se está queimado. Se isto acontecer há necessidade de ajustar os parâmetros de corte.

De quatro em quatro bobines cortadas, retiram-se três anéis aleatoriamente e verifica-se o diâmetro final, a folga do anel e a diferença de faces. Se algum dos parâmetros estiver fora do específico realizam-se os respetivos ajustes nas máquinas. Na figura 24 pode observar-se todo o processo de enrolamento e corte.



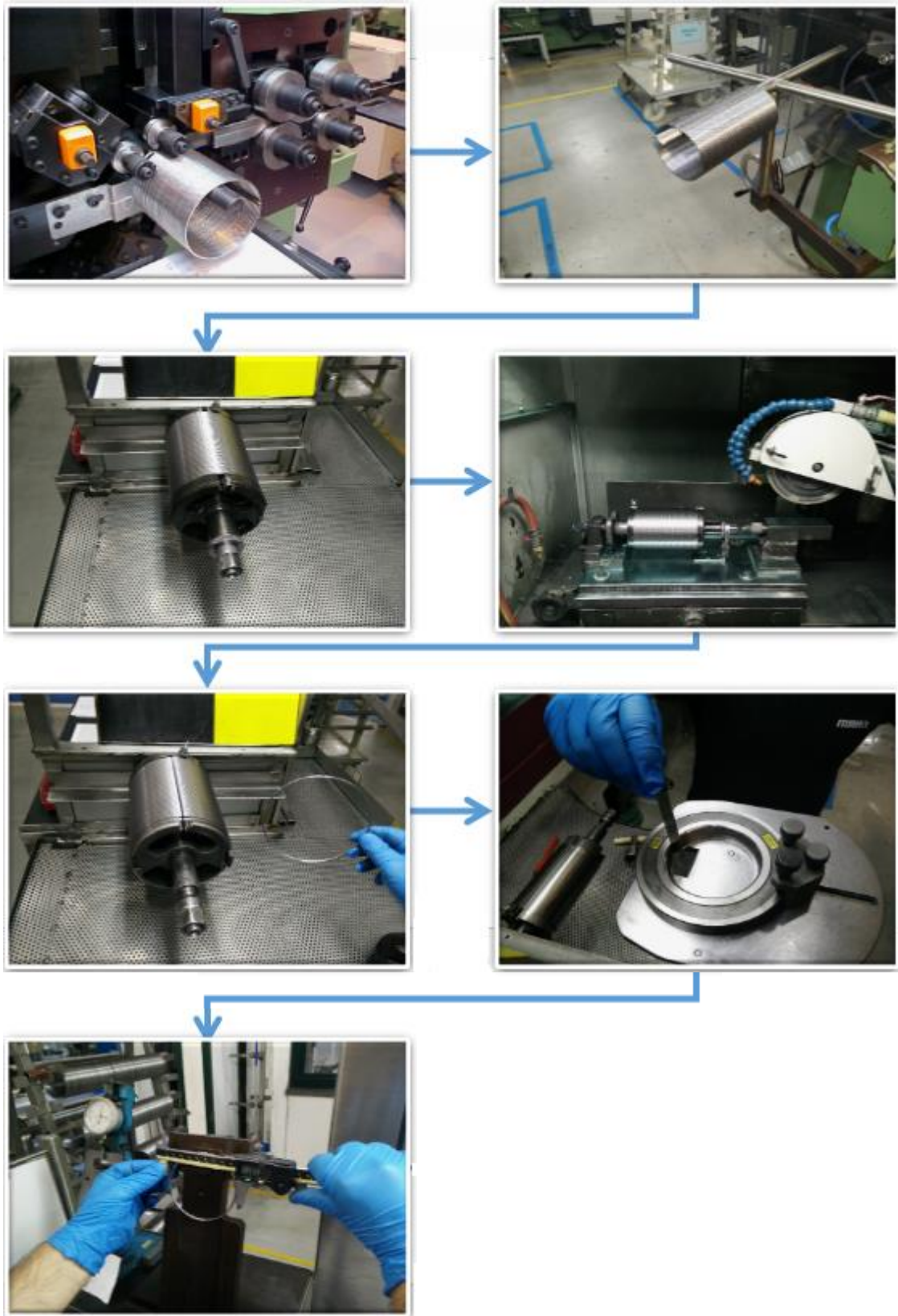


Figura 24 - Processo de enrolamento e corte

### 3.2. Alívio de tensões

Esta operação consiste na redução de tensões residuais internas provocadas pelo processo anterior (enrolamento). Os anéis são montados em árvores sendo estas inseridas num cesto que depois é introduzido no forno (figura 25 (a) e (b)).

O alívio de tensões é realizado a uma temperatura acima dos 600 °C e inferior à da transformação da ferrite em austenite (727°C), durante um estágio de 90 minutos. O ciclo térmico total demora aproximadamente 8 horas. O tratamento é feito em atmosfera controlada (azoto) com vista a evitar a oxidação dos anéis durante o processo de alívio de tensões.



Figura 25 - (a) Cesto (b) Forno de Alívio de tensões

### 3.3. Retificação lateral

Consiste na maquinação e acabamento da altura dos segmentos (figura 26), usando-se para tal vários tipos de abrasivos (rebolos) em função do acabamento pretendido e do material a retificar. A alimentação é feita por gravidade e os anéis são transportados até aos rebolos por meios de discos carregadores que, por rotação, abastecem e retiram os anéis maquinados. Em geral, devido à grande quantidade de material a ser removido nas laterais, é necessário realizar a operação em múltiplos passos, diminuindo a quantidade de material retirado de cada vez. Por fim, um coletor recolhe os segmentos à saída da máquina.

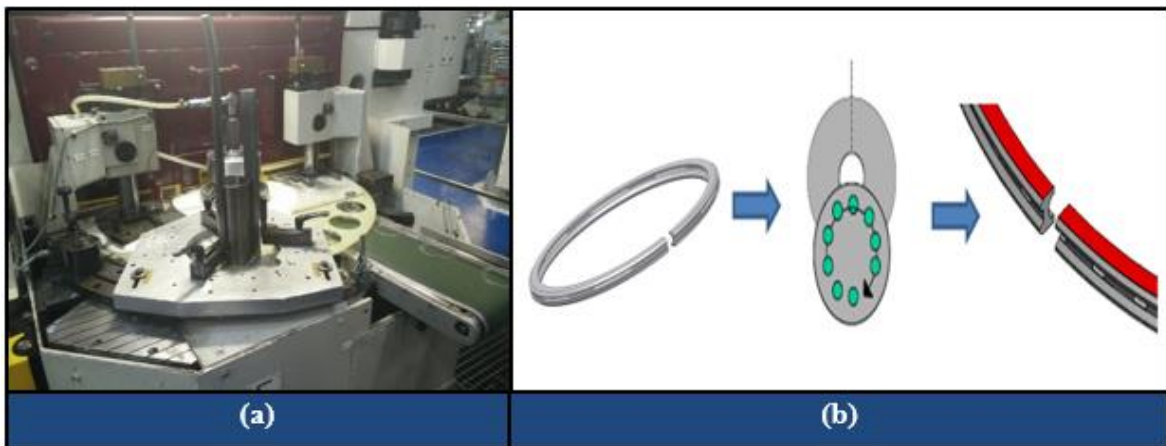


Figura 26 - (a) Retificadora Lateral (b) Esquema de trabalho

### 3.4. Bombeamento

Trata-se da operação de acabamento da face de contacto. Tem como objetivo minimizar as imperfeições da face externa dos anéis, e também diminuir a rugosidade da superfície. A operação consiste em posicionar os anéis em pacotes dentro de uma camisa cilíndrica, onde é colocado um componente abrasivo (mistura de óleo com pó abrasivo, Carboneto de Silício e Óxido de alumínio). Os anéis são fechados no seu diâmetro referido e através de um movimento alternativo (ilustrado na figura 27 (a)) como num funcionamento do motor, os anéis são lapidados. Essa operação proporciona uma remoção de material de acordo com o tempo de bombeamento e o componente abrasivo.

Esta operação serve para definir o perfil final (paralelo, cónico ou abaulado), utilizando para tal ferramental específico.

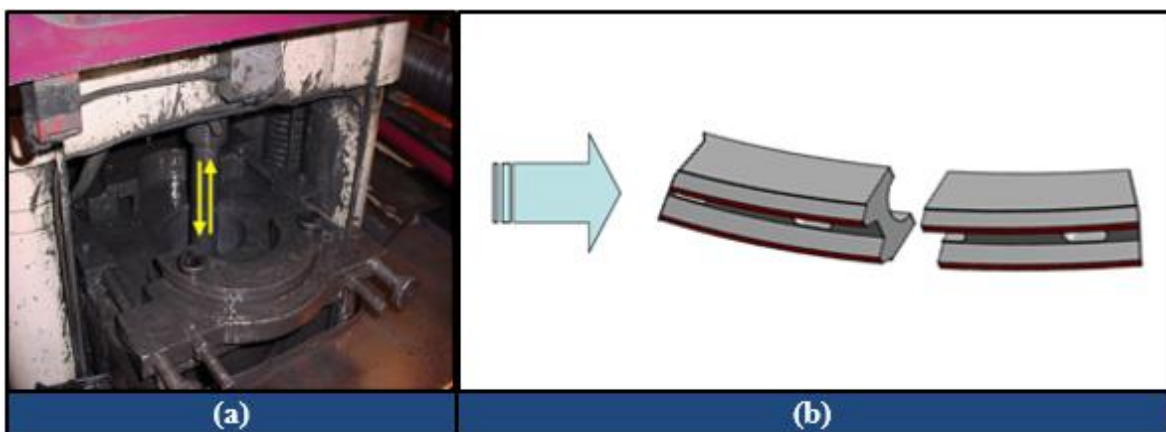


Figura 27 - (a) Esquema de funcionamento (b) Face de trabalho

### 3.5. Nitruração

Consiste num tratamento de superfície em que o azoto é difundido na superfície da peça com o objetivo de melhorar a resistência à corrosão e de reduzir, de uma maneira geral, o desgaste/atrito das peças por aumento da resistência mecânica, permitindo que os motores mantenham os seus níveis desejáveis de funcionamento por períodos cada vez mais longos.

Os anéis são colocados em varas, distribuídas ordenadamente num suporte. Esta operação de nitruração é realizada num forno (figura 28) a uma temperatura máxima na ordem dos 620°C. O ciclo térmico tem uma duração média de 8 horas. Neste tratamento térmico obtém-se geralmente camadas nitruradas na ordem dos 60 a 80 µm, com durezas superficiais que variam entre 900 a 1200 HV. Um dos constituintes mais importantes da camada nitrurada é o Nitreto de Crómio.



Figura 28 - Forno de nitruração

### 3.6. Escovamento interno

Este processo (figura 29) diz respeito à operação de limpeza da face interna dos anéis com vista a operações posteriores, que necessitam que o produto esteja isento de rebarbas, oxidação ou qualquer impureza. Proporciona também um melhor acabamento a essa mesma superfície. Os anéis são colocados no núcleo onde são fechados, sendo feito o escovamento interno em ambos os sentidos de rotação durante aproximadamente 10 segundos.



Figura 29 - (a) Máquina de escovamento interno (b) Face de trabalho

### 3.7. Escovamento externo

Operação de acabamento da face externa do anel e tem como objetivo a limpeza da superfície do anel. Os anéis são montados em árvores e colocados num torno horizontal, que possui uma escova abrasiva (figura 30). A árvore de anéis e a escova fazem um movimento de rotação contrário, sendo os sentidos invertidos após 15 segundos.

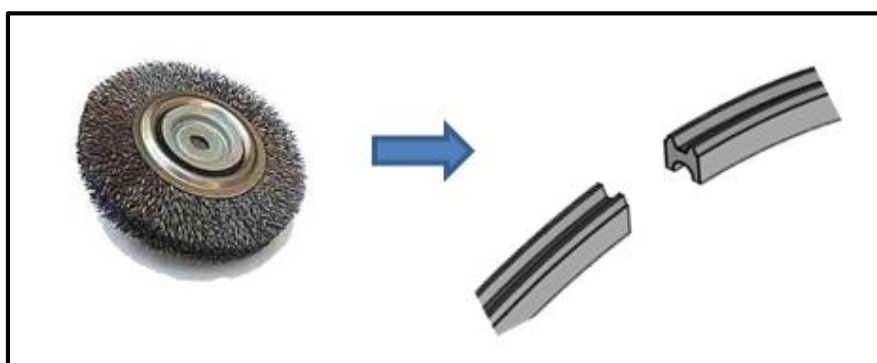


Figura 30 - Escova abrasiva e face de trabalho no anel

### 3.8. Retificação de perfil

Consiste na maquinação da face de trabalho de forma a obter o perfil final, usando-se para tal vários tipos de abrasivos (rebolos) em função do acabamento pretendido e do material a retificar. Os anéis são fechados em árvores e separados por espaçadores. A árvore é montada entre pontos, e de seguida ocorre a maquinação dos anéis. De realçar que esta retificação de perfil é controlada por CNC (figura 31).



Figura 31 - (a) Retificadora de perfil (b) Face de trabalho

### 3.9. Retificação de topo

Consiste na retificação das pontas do anel. Os anéis são fechados no seu diâmetro nominal e empurrados através de uma bucha com o mesmo diâmetro para um disco de corte onde se faz a maquinação das pontas do anel, onde existem discos de corte que maquinam a face das pontas do anel de forma a ficarem com a folga pretendida e com o acabamento desejado.

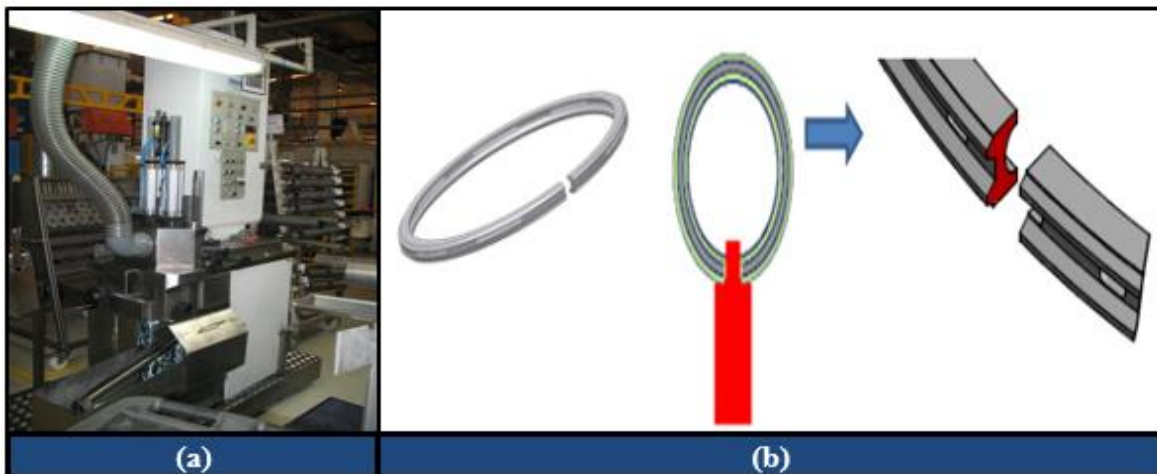


Figura 32 - (a) Retificadora de topo (b) Face de trabalho

### 3.10. Gravação a laser

Consiste em fazer uma gravação a laser identificando o lado de montagem no pistão, podendo incluir-se alguma referência solicitada pelo cliente (figura 33). Esta

gravação é sempre realizada na face lateral do anel com o objetivo de identificar o lado de montagem e também o fabricante do produto.

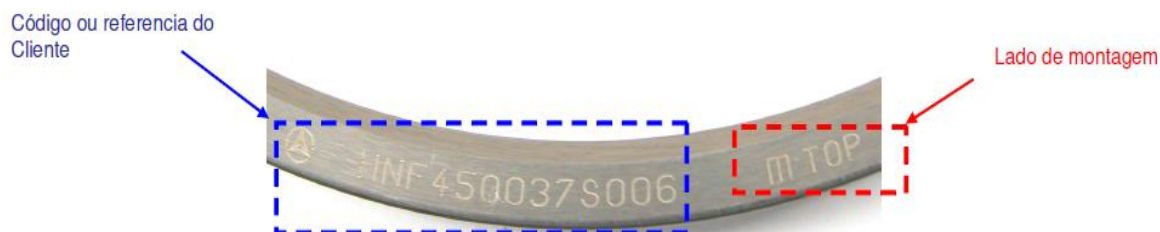


Figura 33 - Gravação a laser

### 3.11. Montagem de mola

Nesta operação procede-se à montagem da mola (figura 34) que confere força tangencial ao anel e proporciona estabilidade ao mesmo. Para este tipo de anel (I-shaped) a montagem é feita manualmente por uma pessoa especializada.

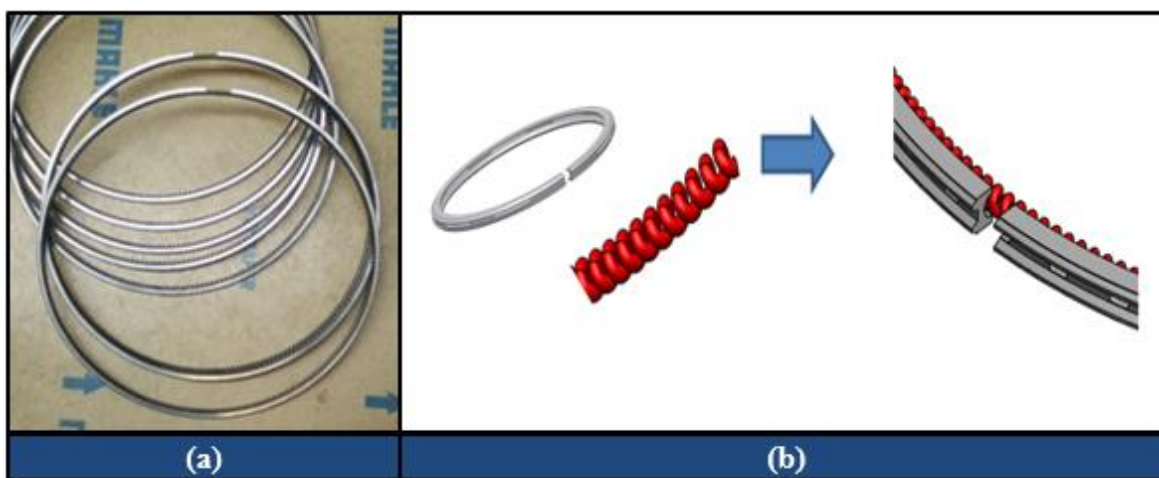


Figura 34 - (a) Anel com mola (b) Procedimento de montagem

### 3.12. Inspeções finais

Ao longo do processo de manufatura do anel o próprio operador faz o chamando controlo da qualidade que consiste na verificação das características durante cada uma das operações de fabrico. O trabalho de verificação do operador de máquina é complementado por análises e medições específicas feitas em laboratório, como é o caso do laboratório físico-químico e o laboratório de metrologia, conduzidas por pessoal qualificado e

equipamentos de alta precisão. A inspeção final segue rigorosamente planos de controlo por família de anéis e também normas relacionadas com a tecnologia dos mesmos.

Assim são verificados:

- Dimensionamento geral dos segmentos;
- Folga entre pontas, diâmetros, espessura radial;
- Altura, ângulos, circularidade, cota h55, etc;
- Análise de revestimentos (caso haja) /Análises metalográficas
- Teste de tração
- Teste de vedação à luz
- Acabamento
- Inspeção visual

Através da realização destas verificações garante-se que no final do processo, os anéis que estão dentro das especificações, sejam embalados e comercializados.



## 4. CASO EM ESTUDO

### 4.1. Problema Inicial

A indústria automóvel tem parâmetros de exigência elevados. O anel em estudo tende a ter especificações rigorosas, impostas pelas marcas com que a Mahle tem parceria.

Pretende-se com este trabalho melhorar a circularidade e as cotas h55 nas extremidades do anel *I-shaped* com perfil *V-form* de forma a melhorar a conformidade da face de trabalho do anel em relação à camisa do pistão e assim contribuir para um melhor rendimento do motor (menor consumo de óleo).

### 4.2. Soluções possíveis para resolução

Perante o problema apresentado as soluções possíveis passam por ajustar os diâmetros de processo nos diferentes pontos-chave da produção do anel:

- Enrolamento e corte;
- Retificação de perfil;
- Bombeamento final

Estes processos são os que alteram as características ao anel e por conseguinte afetam os parâmetros em estudo (circularidade, h55).

Para que se possam retirar conclusões sobre a influência que cada um dos processos tem nestes parâmetros, dever-se-ia proceder à alteração do diâmetro de processamento do anel, verificando, no final, a sua influência na circularidade e na cota h55. Este procedimento seria aplicado sucessivamente e individualmente nos diferentes processos (figura 35).

Contudo como o tempo de estágio foi reduzido, só foi possível proceder à modificação do diâmetro para o processo de enrolamento e corte do anel.

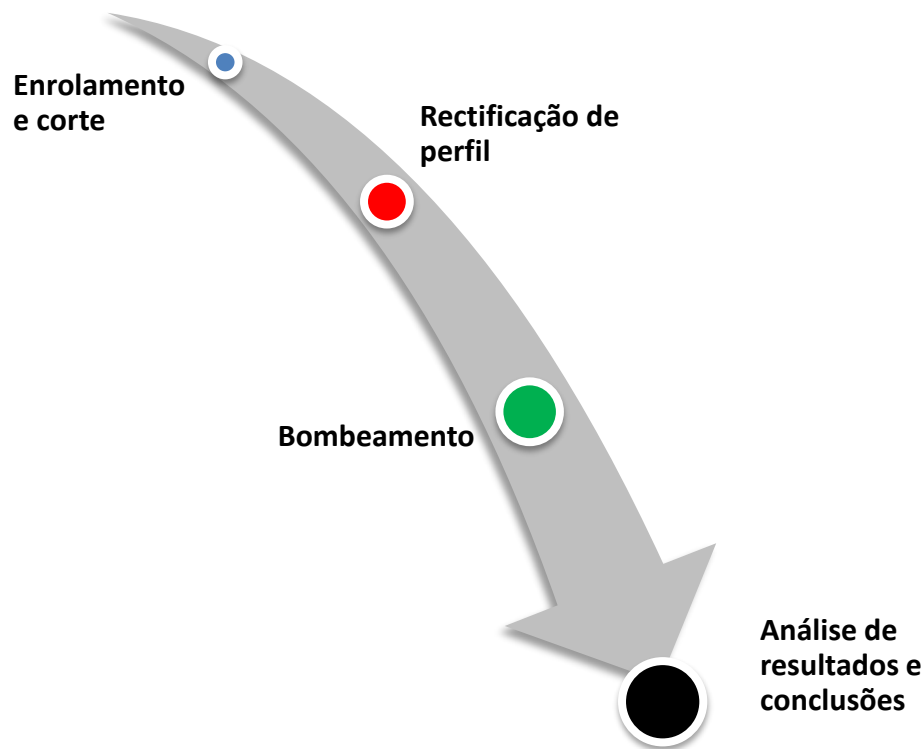


Figura 35 - Esquema de soluções possíveis

### 4.3. Procedimento em estudo

Este trabalho consistiu na modificação do diâmetro final de enrolamento e corte do anel *I-Shaped* com perfil *V-form* e dividiu-se em duas partes: uma primeira que diz respeito ao levantamento e tratamento de dados considerados “*baselines*” e uma segunda referente à produção de duas OPA`s teste com diâmetros de processo otimizados para comparação de resultados. Através do levantamento de dados verificou-se que o diâmetro de enrolamento do *baseline* foi de 83,15 mm, enquanto que as OPA`s teste foram enroladas com um novo diâmetro de 83,11mm (tabela 3).

#### 4.3.1. Levantamento e tratamento de dados

A primeira fase de alteração do diâmetro de enrolamento consistiu num levantamento de medições do anel de OPA`s antigas, registadas no histórico da empresa. Para a realização desta etapa foi criada uma folha de cálculo onde foram registados o diâmetro inicial e final. De seguida, através de uma folha de cálculo específica para o efeito

(figura 36) foi calculado o novo diâmetro final para efetuar as referidas modificações nas OPA's teste.

AN74768.00		86VNS 83,00-2,0-2,43										Calculado em: 26-11-2014																														
												Versão: v. 01																														
Operação	Ø Estado livre	Abertura Livre	Ø Calibre de Folga	Folga	Folga Arreta	MEDIA	Folga Máxima	Córtex	Remoções / Acréscimo no Ø Externo	Remoção na ponta	Quantidade de anéis por bobina	Alimentação de fita	Ø da bobina confinada no corte	Ø calculado da camisa p/ corte																												
Enrolamento	83,11	-1,15										20618																														
		Diâmetro inicial = 73,14		Coeficiente de deformação = 0,880																																						
Corte	83,11	0,40	83,25	0,83	0,73	0,83	0,93	0,83		-1,55	79		83,48	79,80																												
Bombeamento c/ Borr	83,10	0,40	83,25	0,86	0,76	0,86	0,96	0,86	-0,010																																	
Rectificação de Perfil	83,00	0,40	83,00	0,39	0,29	0,39	0,49	0,39	-0,100																																	
Nitretação Gasosa	83,22	0,40	83,30	0,64	0,54	0,64	0,74	0,64	0,220		PRG28																															
Bombeamento c/ mola	83,16	0,40	83,25	0,69	0,59	0,69	0,79	0,69	-0,065																																	
Retífica de Topo	83,16	0,80	83,00	0,30	0,20	0,30	0,40	0,30		-0,40																																
Produto Acabado	83,16	0,80	83,00	0,30	0,20	0,30	0,40	0,30																																		
Abertura Livre do Processo		0,50		<b>DADOS DE PROCESSO</b>																																						
Espessura do disco de corte		1,55																																								
Radial da fita		1,80																																								
Altura da fita		2,03																																								
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Material Base</th> <th>OT10</th> <th>HSD</th> <th>HCO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lapidação após nitretação</td> <td>MA07</td> <td>X</td> <td>25</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>Rect. de perfil após nitretação</td> <td>MA07</td> <td>25</td> <td>26</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>Est. Lim. no Borr. Após nitretação</td> <td>MA07</td> <td>28</td> <td>29</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td></td> <td>MA07</td> <td>4</td> <td>9</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td></td> <td>MA07</td> <td>28</td> <td>X</td> <td>29</td> </tr> </tbody> </table>										Material Base	OT10	HSD	HCO	Lapidação após nitretação	MA07	X	25	27	Rect. de perfil após nitretação	MA07	25	26	27	Est. Lim. no Borr. Após nitretação	MA07	28	29	31		MA07	4	9	25		MA07	28	X	29
Material Base	OT10	HSD	HCO																																							
Lapidação após nitretação	MA07	X	25	27																																						
Rect. de perfil após nitretação	MA07	25	26	27																																						
Est. Lim. no Borr. Após nitretação	MA07	28	29	31																																						
	MA07	4	9	25																																						
	MA07	28	X	29																																						
				<input checked="" type="checkbox"/> Faltou definir um programa mais adequado																																						
				Data de impressão: 09-02-2015 09:42																																						

Figura 36 - Folha de cálculo para determinar o novo diâmetro de processo

#### 4.3.2. Produção das OPA's teste

Como referido anteriormente, após o cálculo dos novos diâmetros procedeu-se à produção das novas OPA's. Foram enroladas com o diâmetro final descrito na tabela 3:

Tabela 3 - Diâmetro final de enrolamento

	Baseline	Teste 1	Teste 2
<b>OPA</b>	652009802	652010261	652010262
<b>AN</b>	74768.00	74768.00	74768.00
<b>Diâmetro final [mm]</b>	83.15	83.11	83.11

Foram produzidos 500 anéis para cada teste e retirados 10 anéis aleatoriamente de cada OPA e enviados para o laboratório de metrologia para controlo dos seguintes parâmetros:

- Cotas h55
- Circularidade dos anéis.

#### 4.3.2.1. Medição das cotas h55

Estas medições foram efetuadas num perfilómetro Surfcom 1800D representado na figura 37 (a). O anel é inserido nos diferentes pontos de medição (5°, 90°, 180°, 270° e 355°) e através do contacto e do movimento da ponta sobre a superfície do mesmo é gerado um perfil. O varrimento na superfície do anel é feito perpendicularmente à face de contacto (figura 37 (b)). O programa gera automaticamente o perfil do anel com as respetivas medições por onde a ponta passou. No caso do anel *I-Shaped*, a medição do h55 terá duas cotas, uma chamada superior e outra inferior devido ao fato de o anel ter um perfil em I. O alinhamento é efetuado na face lateral inferior e a diferença dessas duas cotas é chamada cota *off-set*. Um exemplo das medições está representado na figura 38.

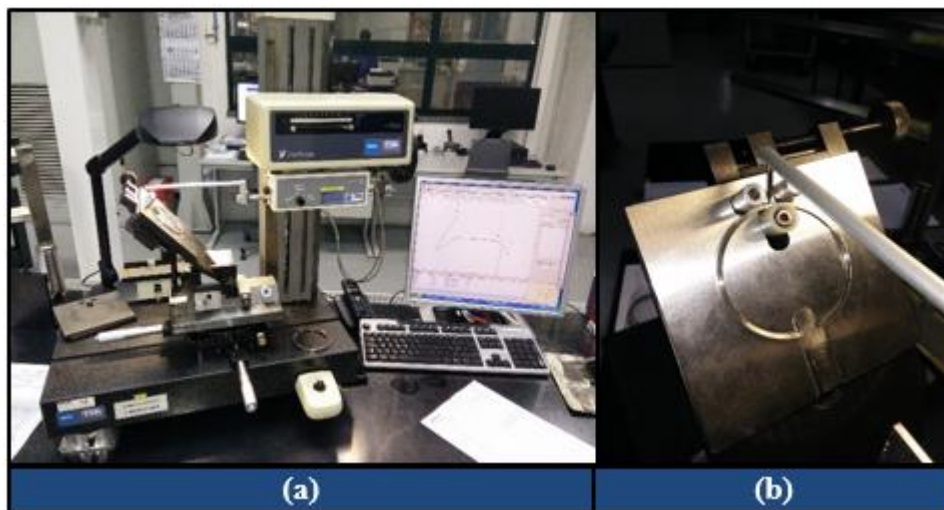


Figura 37 - (a) Perfilómetro Surfcom 1800D (b) Varrimento da ponta

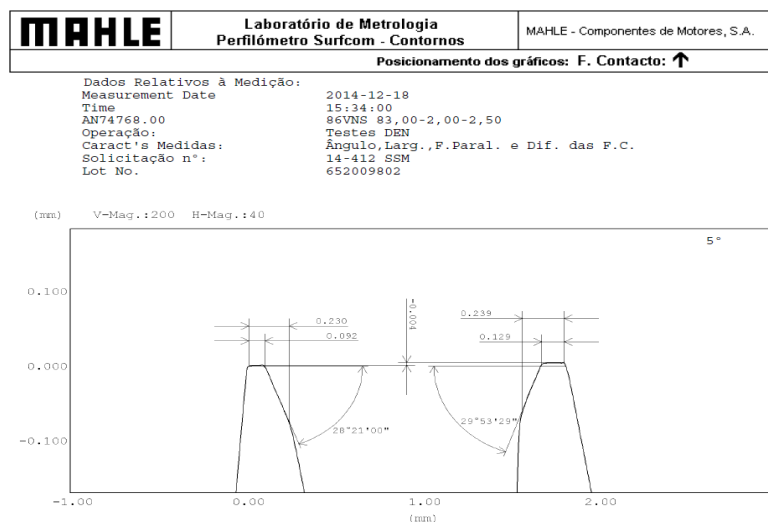


Figura 38 - Exemplo da medição de um anel

#### 4.3.2.2. Medição da circularidade

Para esta medição recorreu-se a um aparelho chamado “erro de forma” da marca Mahr MMQ-400 representado na figura 39 (a). O anel é confinado num calibre de luz com diâmetro nominal e através do contato de uma ponta plana faz o varrimento ao longo da circunferência do anel, registando os valores de circularidade. Esses valores são gerados automaticamente por um programa específico apresentando o gráfico de circularidade representado na figura 40.

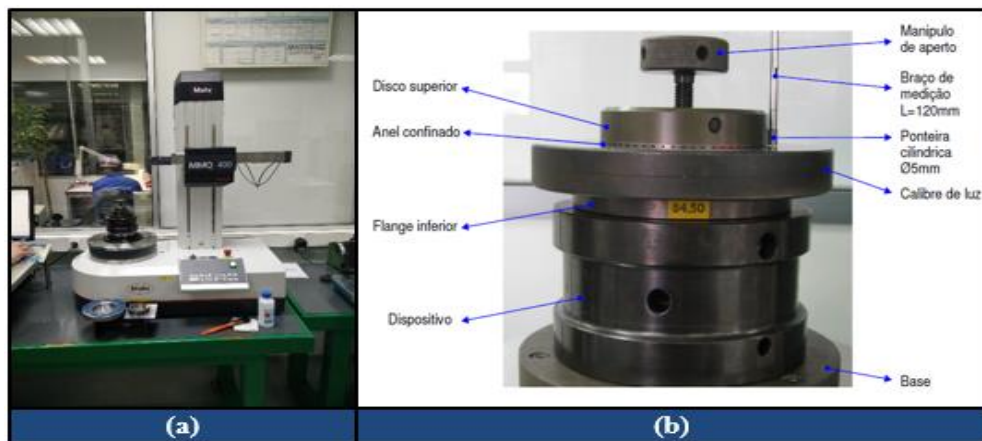


Figura 39 -(a) Aparelho "erro de forma" (b) Medição da circularidade

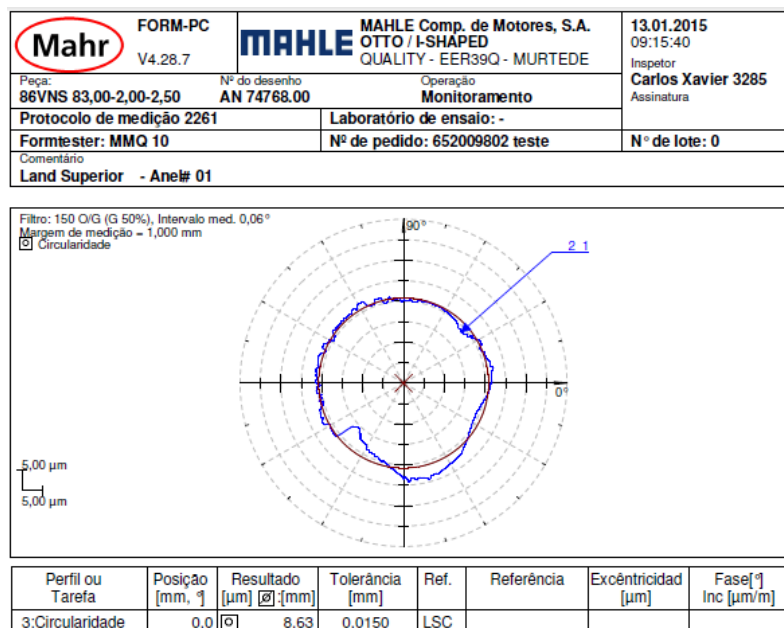


Figura 40 - Exemplo da medição de um anel



## 5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

No presente capítulo são analisados os resultados referentes à cota h55 nas pontas e a circularidade de cada anel. Os dados foram obtidos através de medições no laboratório de metrologia. De salientar que a OPA 652009802 chamada “baseline” será a referência de comparação para os dois parâmetros. Para cada OPA foram medidos dez anéis aleatoriamente.

### 5.1. Análise da Cota h55

Os anéis foram medidos em diferentes pontos nomeadamente a 5°, 90°, 180°, 270° e 355°. Uma vez que o objetivo é comparar o h55 nas extremidades do anel só há interesse em analisar a 5° e 355° (pontos referentes às extremidades do anel). O valor de referência em cada anel foi o obtido a 180° estipulado segundo a norma de medição dos anéis (ISO 6621-2 [17]). A 180° é onde existem as melhores características da peça em questão porque não se consegue assegurar uma uniformização em todo o anel. Isto explica-se pelo facto de o anel ter mais solidez a 180° devido à abertura livre existente nas pontas. Assim tenta-se ajustar os parâmetros das pontas do anel o mais próximo possível com os valores obtidos a 180°.

Os dados obtidos foram introduzidos numa folha de cálculo disponível (anexo A) e obtiveram-se os valores indicados na tabela 4 para a mediana nos diferentes pontos do anel:

Tabela 4 - Valores de mediana nos diferentes pontos do anel

“BASELINE”- OPA 652009802					
MEDIANA	5°	90°	180°	270°	355°
[mm]	0.105	0.078	0.080	0.078	0.103
“Teste 1”- OPA 652010261					
MEDIANA	5°	90°	180°	270°	355°
[mm]	0.075	0.088	0.090	0.083	0.068

"Teste 2" - OPA 652010262					
MEDIANA	5°	90°	180°	270°	355°
[mm]	0.085	0.095	0.088	0.090	0.088

A mediana serve assim de referência na comparação dos gráficos representados a seguir (figuras 41 a 43):

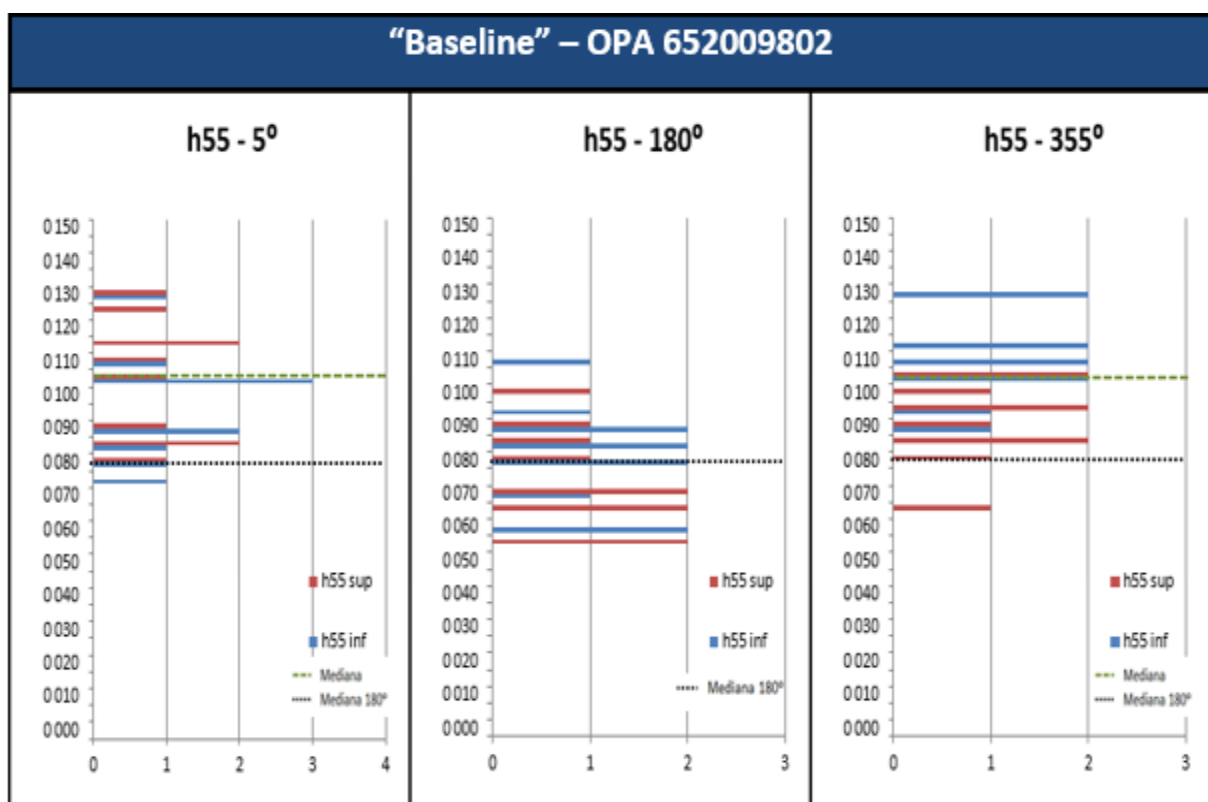


Figura 41 - Valores do "Baseline" a 5°, 180° e 355°



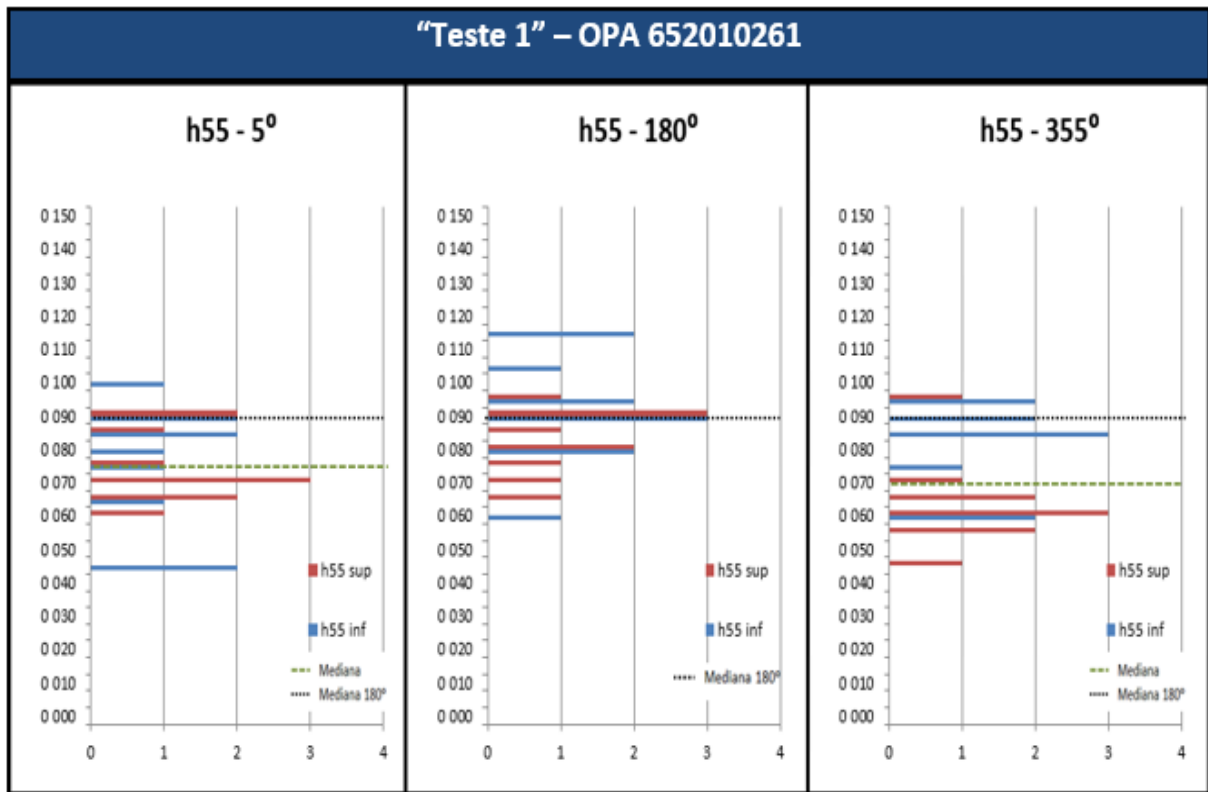


Figura 42- Valores do “Teste 1” a 5°, 180° e 355°

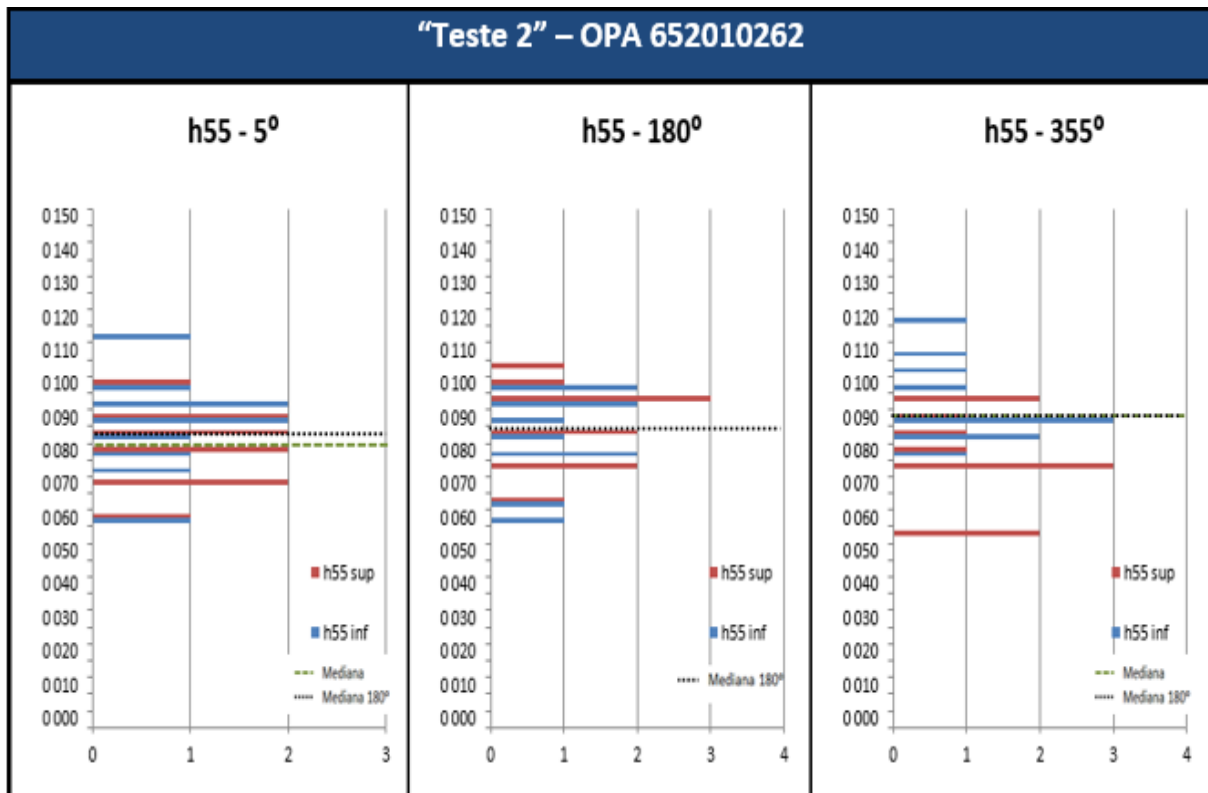
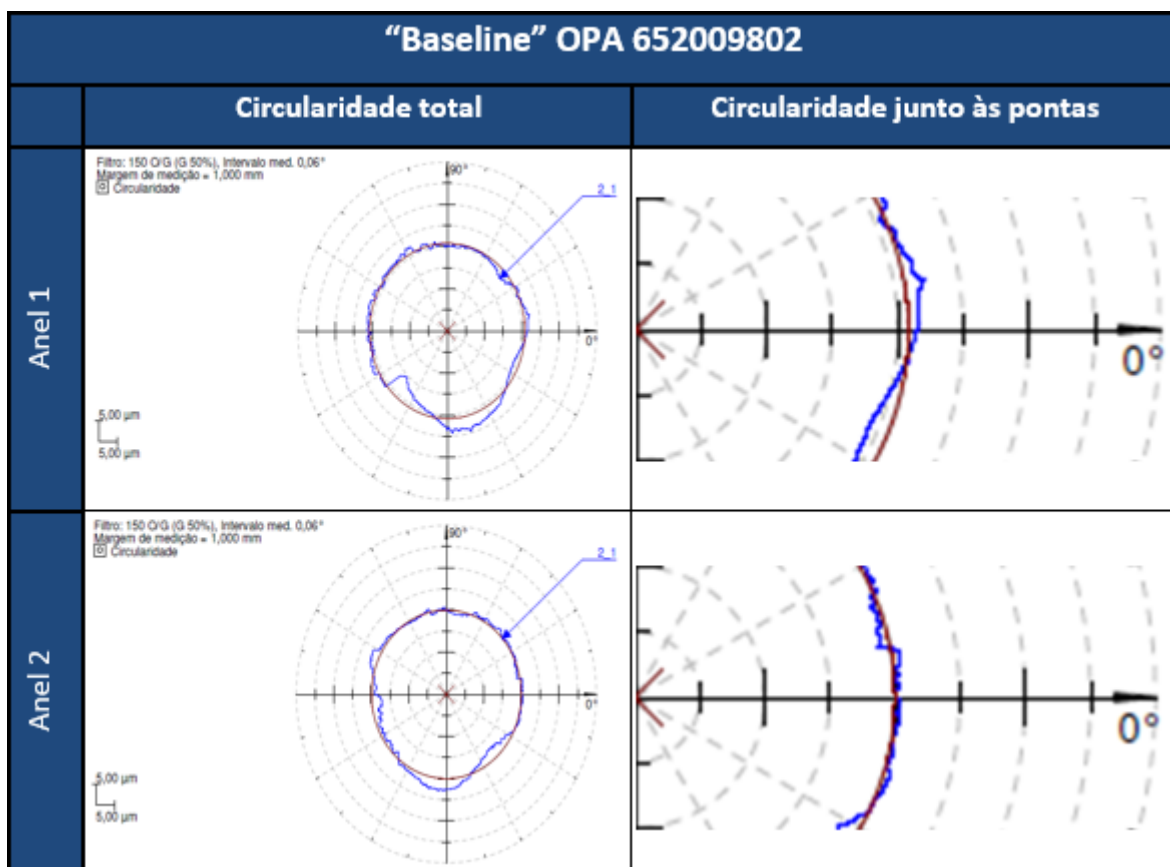


Figura 43 - Valores do "Teste 2" a 5°, 180° e 355°

Comparando os gráficos das diferentes OPA´s verifica-se que houve uma melhoria do h55 em relação ao “Baseline”. É possível observar que o valor da mediana a 180° se encontra mais próximo dos valores da mediana a 5° e 355° nos dois testes realizados. Em anexo B encontram-se os gráficos que mostram os valores de h55 nos diversos pontos do anel.

## 5.2. Análise da circularidade

De seguida apresentam-se os gráficos de circularidade obtidos para os 5 primeiros anéis de cada OPA (figuras 44 a 46). Os restantes gráficos encontram-se no anexo C. É possível verificar a circularidade total do anel (à esquerda) e a circularidade junto às pontas (à direita). A unidade de medição para estes gráficos é na ordem dos micron ( $\mu\text{m}$ ), com uma escala de 5 micron de intervalo.



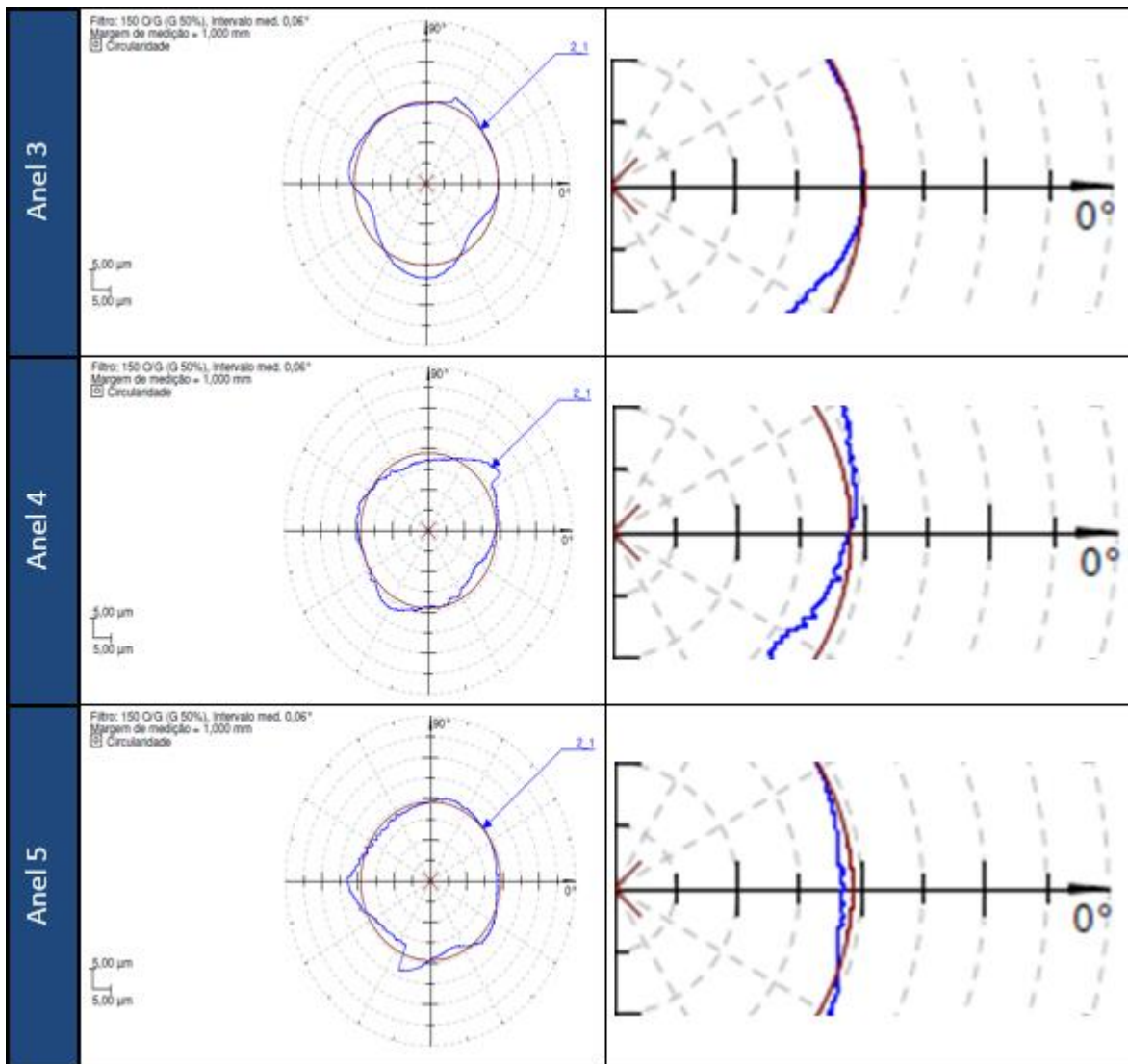
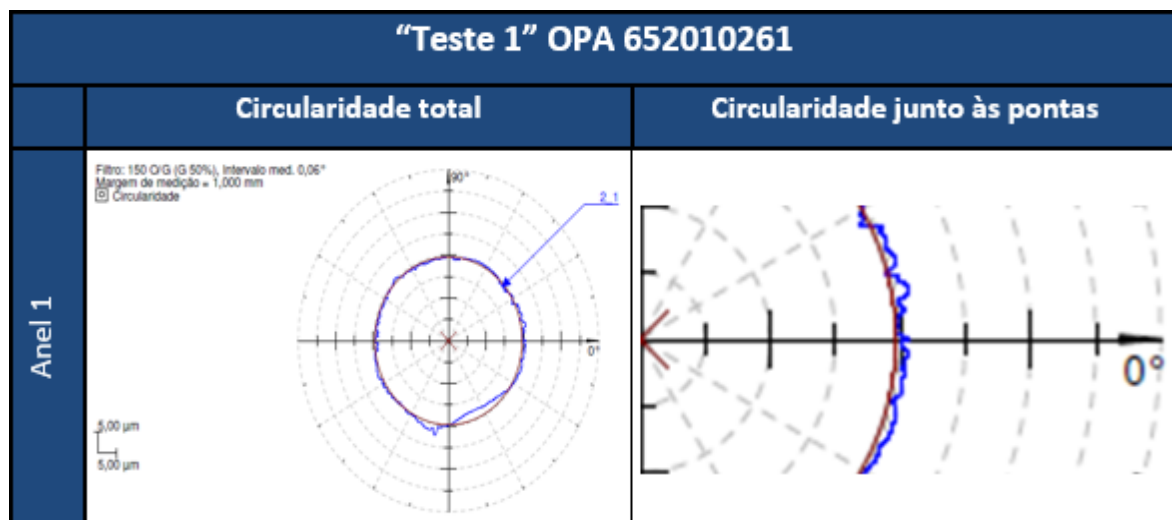


Figura 44 - Gráficos de circularidade da baseline



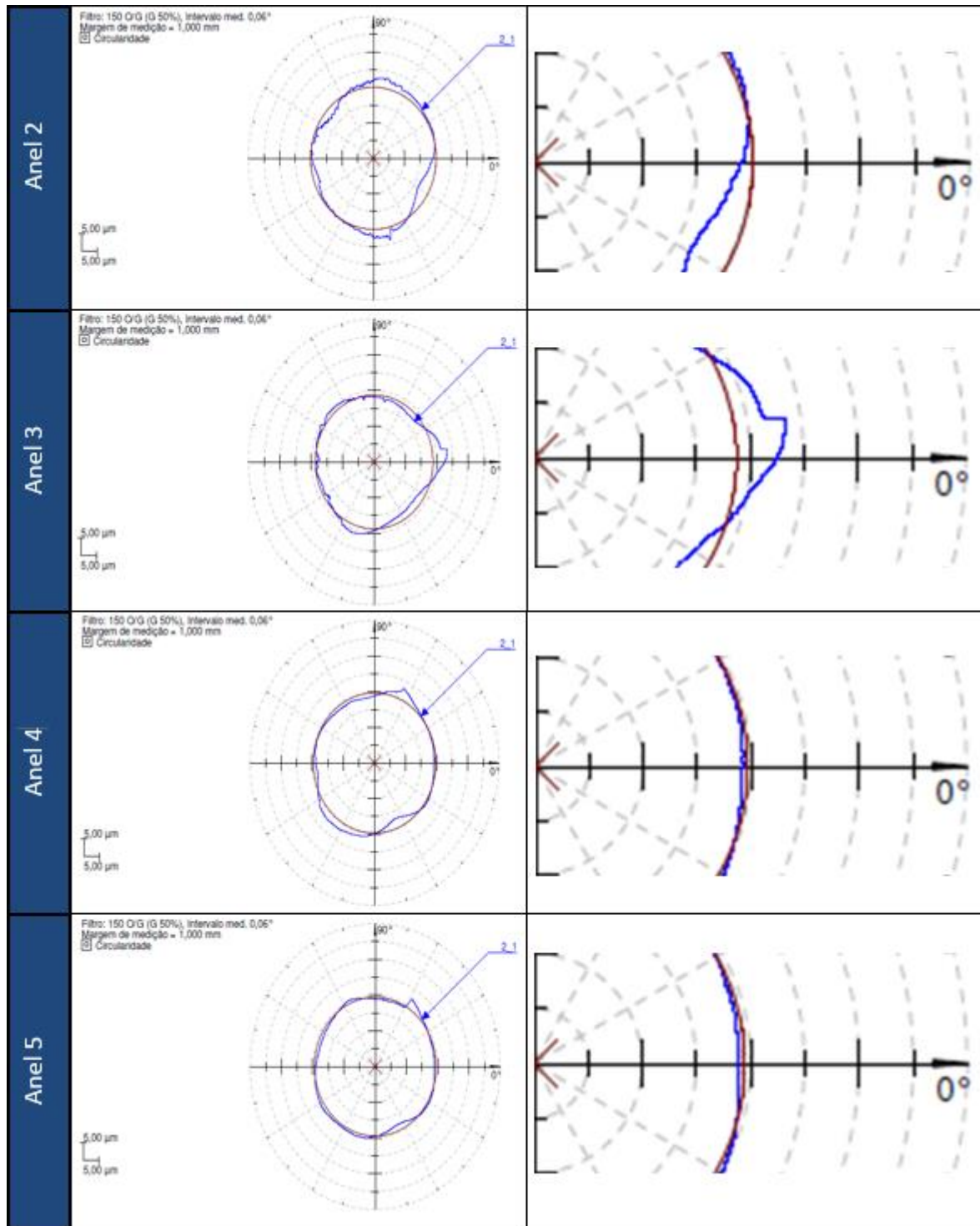
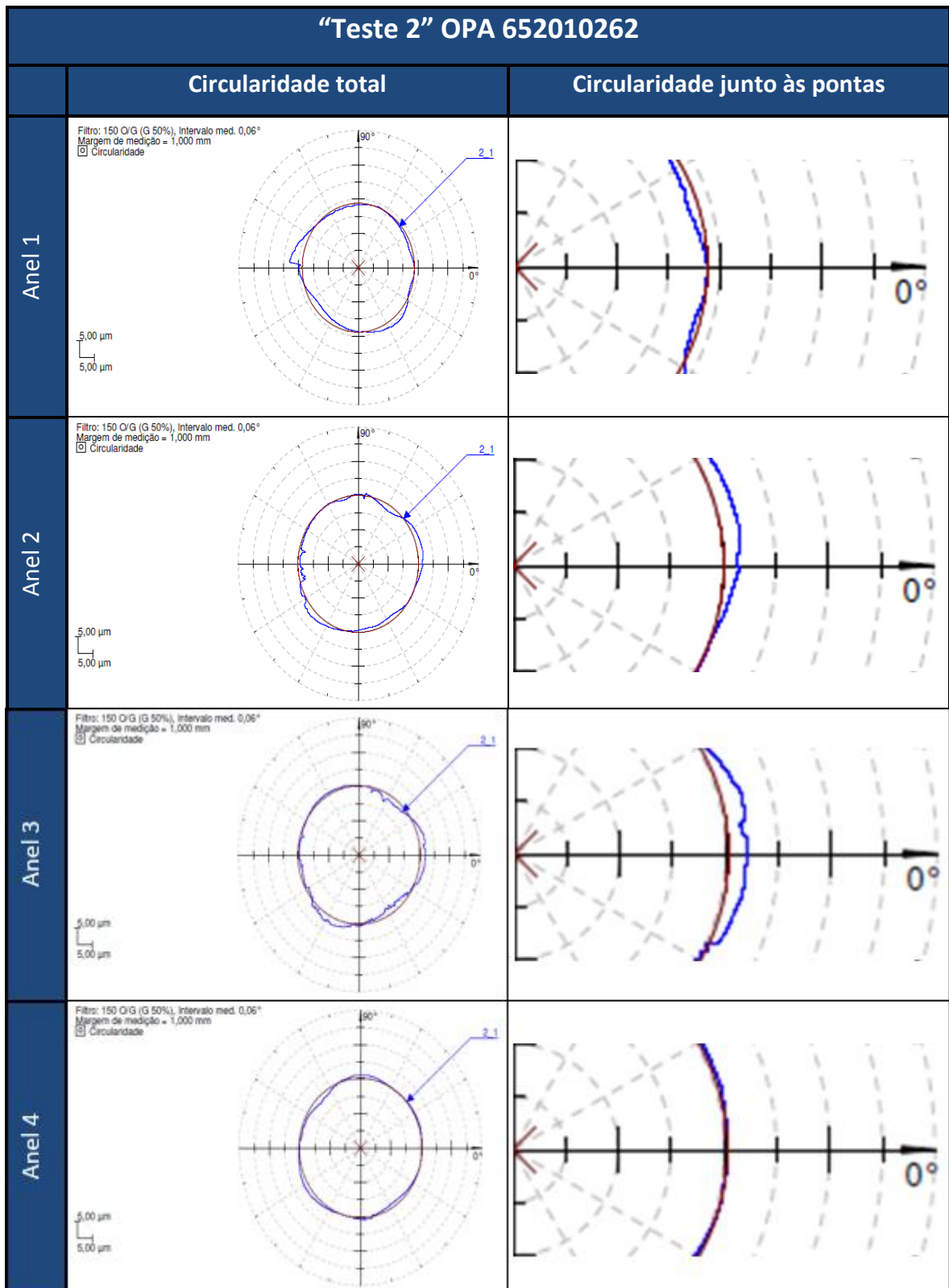


Figura 45 - Gráficos de circularidade do teste 1



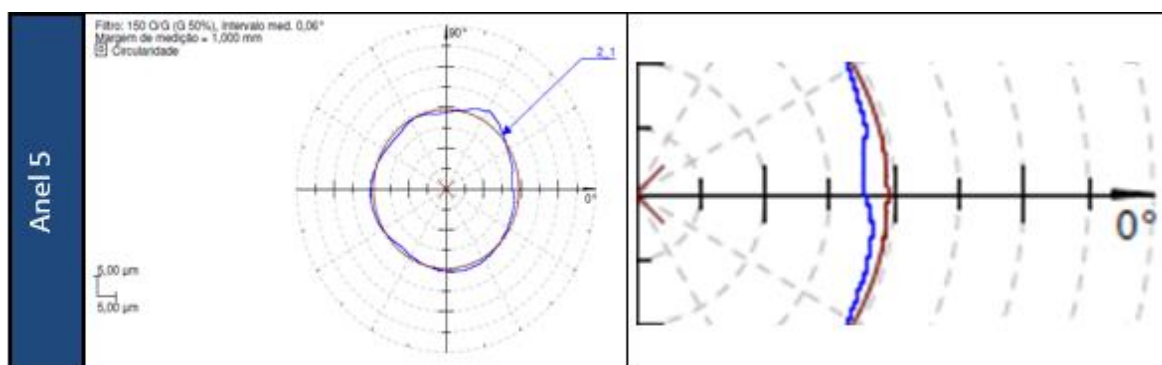


Figura 46 - Gráficos de circularidade do teste 2

Como se pode verificar através dos gráficos não é visível um melhoramento da circularidade nas pontas do anel para as OPA's teste realizadas. Tendo em conta a linha de referência (baseline). Cada OPA apresenta pelo menos 2 anéis com algum tipo de desvio que afeta a circularidade nas extremidades.

Foram identificamos nestas condições os anéis 7 e 8 da “baseline” (Anexo C), os anéis 2 e 3 do “teste 1” e os anéis 8 e 9 para o “teste 2” (Anexo C).

De modo a determinar se a circularidade melhorava ao longo do anel, efetuaram-se os cálculos da circularidade média para cada OPA. Foi construída uma folha de cálculo que se encontra no Anexo D. Através da circularidade média de cada anel (medida pelo laboratório e enviada juntamente com o gráfico da circularidade e representada na figura 47), calculou-se a circularidade média de cada OPA (tabela 5).

Perfil ou Tarefa	Posição [mm, °]	Resultado [μm] [Ø]:[mm]	Tolerância [mm]	Ref.	Referência	Excêntrica [μm]	Fase[°] Inc [μm/m]
3:Circularidade	0,0	<span style="border: 2px solid red; padding: 2px;">⊙ 8,63</span>	0,0150	LSC			

Figura 47 – Circularidade do anel representada no quadrado vermelho

Na figura 48 estão indicados os valores da circularidade média de cada anel e respetiva OPA.

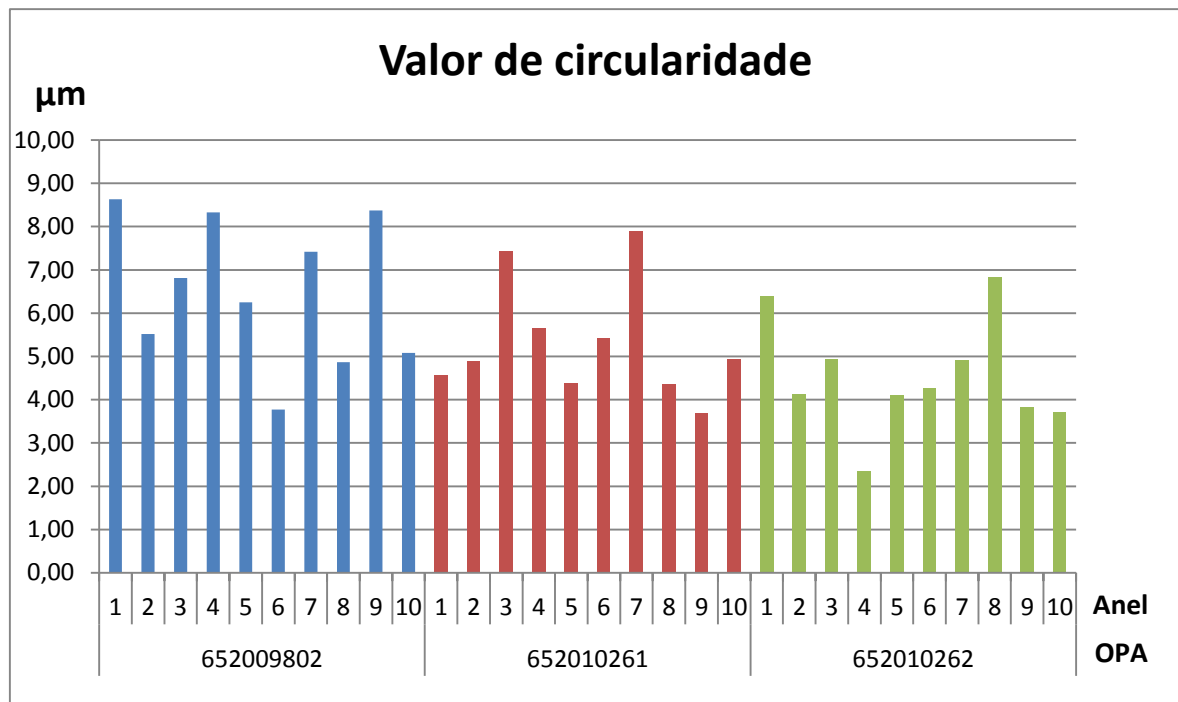


Figura 48 - Valor de circularidade de cada anel e respectiva OPA

Tabela 5 - Valor médio de circularidade de cada OPA

Anel	<i>Baseline- OPA</i>	<i>Teste 1- OPA</i>	<i>Teste 2- OPA</i>
	652009802	652010261	652010262
1	8.63	4.57	6.38
2	5.52	4.88	4.13
3	6.81	7.42	4.94
4	8.33	5.64	2.34
5	6.25	4.38	4.11
6	3.77	5.42	4.27
7	7.42	7.89	4.92
8	4.87	4.35	6.83
9	8.37	3.69	3.82
10	5.08	4.93	3.71
<b>MÉDIA DA CIRCULARIDADE [µm]</b>	<b>6,51</b>	<b>5,32</b>	<b>4,55</b>

Visto que o objetivo é um valor de circularidade mais próximo de zero possível (anel perfeitamente circular), os resultados médios obtidos nos teste 1 e 2 apresentam melhores resultados comparativamente com o *Baseline* (Tabela 5) embora não possam ser considerados muito significativos (resultados significativos seria um melhoramento de 4 a 5 micrometro em relação à *Baseline*). Observa-se uma diminuição de 1,19  $\mu\text{m}$  para o Teste 1 e 1,96  $\mu\text{m}$  para o Teste 2. No futuro uma das soluções é tentar otimizar ainda mais o diâmetro de enrolamento para ver se os resultados obtidos tem impacto positivo na circularidade.



## 6. ATIVIDADES PARALELAS

No presente capítulo apresentam-se atividades paralelas realizadas durante o período de estágio na empresa Mahle. Estas atividades decorreram no intervalo em que as OPA's de teste estavam a ser produzidas (cerca de um mês e meio). Elas contribuíram para alargar o conhecimento nas diversas áreas da empresa e ficar a entender melhor todo o processo de manufatura do anel.

### 6.1. Levantamento de dados sobre velocidade de avanço para a mesa da máquina de corte

O objetivo desta atividade foi o de fornecer dados acerca da velocidade de avanço ideal da mesa de corte (figura 49), para cada tipo de anel na linha do *I-shaped*. Desta forma, é possível ajustar a velocidade de avanço para cada tipo de anel evitando que haja rebarba e anel queimado. No anexo E estão os valores registados das medições efetuadas. Verificando os dados obtidos em anexo, pode-se observar que a linha verde é a velocidade máxima da mesa que se pode trabalhar em segurança sem que o anel apresente “queimado” ou rebarbas. A partir da linha amarela os anéis apresentam “queimado” e rebarba e não é aconselhável trabalhar acima destas velocidades uma vez que poderia prejudicar as características do anel.



- 1 Manipulo de regulação do ângulo da mesa (paralelismo)
- 2 Manipulo de regulação da centragem da mesa

**Figura 49 - Mesa de corte**

## 6.2. Alteração da guia de entrada para a máquina de enrolamento *I-Shaped*

Durante este estágio constatou-se que a fita de aço tinha pouca estabilidade à entrada para os roletes de arrasto. A solução encontrada foi alterar o comprimento da guia para haver uma área maior, e assim estabilizar a fita à medida que entra para os roletes de arrasto. Modificou-se o comprimento da guia de 80 mm para 180 mm. Com esta alteração consegue-se através de testes realizados, uma melhor e mais rápida afinação em cada setup, nomeadamente no alinhamento das pontas e do “*dish*” (torção). A alteração da guia foi feita em AUTOCAD e o desenho encontra-se no Anexo F. Na figura 50 está representada a guia se sofreu as alterações.



Figura 50 - Guia que sofreu alteração

## 6.3. Realização de um plano de ação/reação para o forno de Alívio de tensões

Nesta atividade foi realizado um plano de ação/reação para o operador ter uma noção de como atuar na ocorrência de falhas durante o processo de alívio de tensões ou de desvios das dimensões pretendidas. No anexo G encontra-se o plano realizado em EXCEL onde se encontram todos os passos a tomar em caso de ocorrências.

### 6.4. Definição dos programas da mufla para nova tecnologia de anel

A mufla é um pequeno forno onde se realizam testes antes de enrolar a fita de aço, de forma a verificar as alterações que ocorrem no anel quando sofre o alívio de tensões. Foi realizada uma organização dos programas de teste e a criação de outros para que o operador selecione o programa a utilizar dependendo do tipo de anel e de aço (figura 51).

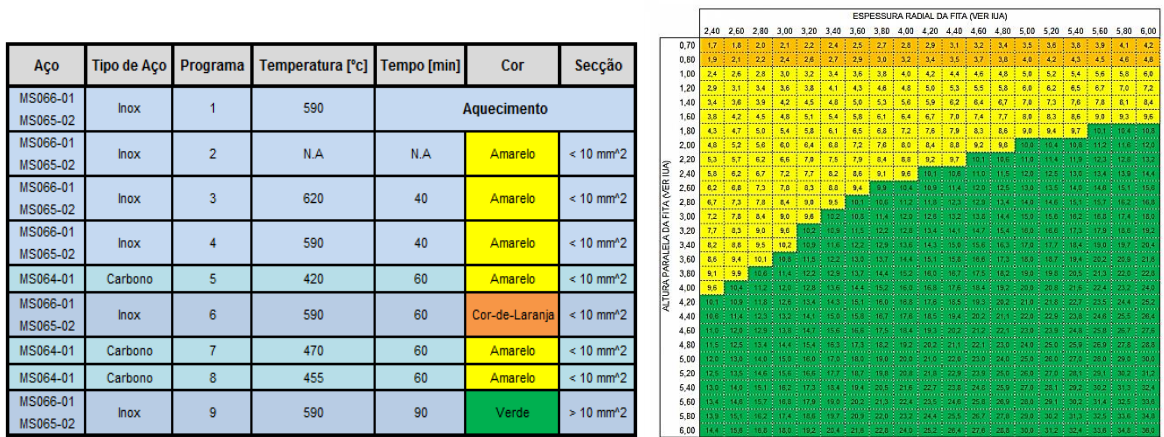


Figura 51 - Programas de mufla consoante o tipo de aço e anel

### 6.5. Começo da implementação da metodologia S.M.E.D

Esta tecnologia permite de uma maneira rápida e eficiente mudar um determinado ferramental de uma linha de produção de modo a que haja redução de tempo e custos na alteração da mesma [18]. Como a produção na linha dos anéis de forma (OTTO-veículos ligeiros) vai ser alvo de incremento nos próximos meses, essa implementação da tecnologia é essencial para que haja uma diminuição de tempo na troca do ferramental e assim evitar percalços/avarias como por exemplo a fratura dos mordentes da faca. Assim esta atividade consistiu no levantamento dos desenhos da faca e a criação de um código SAP, tendo-se também procedido à encomenda da nova faca (figura52).

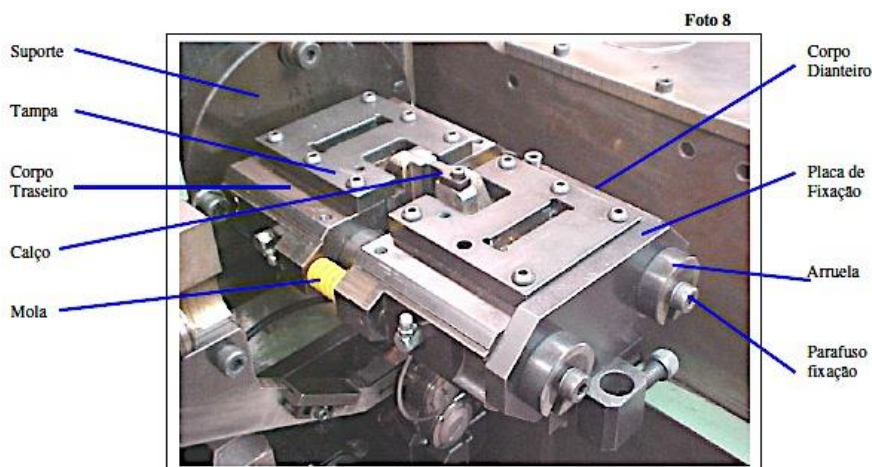


Figura 52 - Componentes da faca

## 6.6. Criação de Norma e alteração de IP's

Esta atividade teve como objetivo a atualização das IP's (tabela7) para que os operadores sigam os procedimentos para as operações de enrolamento e corte. Também houve a necessidade de criação de uma norma com o nome PS-ENAF-011 (tabela 6) para definir o procedimento de transferência dos dados do programa de cálculo do enrolamento para o controlador da ENA O2.

Tabela 6 - Normas da ENA O2

NORMAS DE REFERÊNCIA			
Máquina	Norma	Título	Descrição
ENA-02	PS-ENAF-002	Preparação da máquina de enrolamento de anéis de aço MCM-100	Montagem de ferramental, montagem de roletes e afinação de máquina
	PS-ENAF-011	Descrição e transferência de dados no sistema YASKAWA	Transferência de dados pelo sistema Yaskawa
	IP-ENA-06	Desbobinador SOPREM	Preparação e operação com o desbobinador SOPREM

Tabela 7 - IP's modificadas

IPs de REFERÊNCIA			
Máquina	Norma	Título	Descrição
ENA	IP-ENA-01	Máquina de Enrolamento de Forma MCM-100, MCM-110, MCM-130 e MCM 410	Parametrização das Enroladoras
	IP-ENA-02		Escolha de conjunto formador de diâmetro interno
	IP-ENA-03		Procedimento de destino final de anéis de: setup máquina
	IP-ENA-05	Teste de fita na Mufla	Definir o procedimento operacional e escolha do programa.
	IP-ENA-06	Preparação e operação com o desbobinador SOPREM	Desbobinador SOPREM



## 7. CONCLUSÕES

O programa de trabalhos deste estágio baseou-se no estudo da cota h55 e circularidade do anel *I-Shaped* com perfil *V-form*. Para tal realizaram-se testes na fase do enrolamento e corte em duas OPA's e analisaram-se os resultados obtidos.

Foi feita uma análise detalhada em 10 anéis de cada OPA e verificou-se o impacto da mudança no diâmetro de enrolamento nos dois parâmetros referidos.

Através dos resultados obtidos para a cota h55 dos anéis, verifica-se que a alteração do diâmetro teve impacto positivo no parâmetro h55, em particular no teste 2. De fato, foi possível concluir que o ajustamento do diâmetro final no processo de enrolamento e corte induziu uma melhoria substancial a nível da uniformização da cota h55 ao longo do anel e principalmente nas suas pontas.

No que diz respeito à circularidade, concluiu-se que a alteração do diâmetro não teve grande impacto nas extremidades dos anéis. De facto, comparando os dez anéis do teste 1 e 2 com o “*baseline*” não se chegou a nenhuma conclusão final sobre a influência da alteração do diâmetro a 5° e 355°. Relativamente à circularidade ao longo do anel verificou-se, através do cálculo da média da circularidade nos dez anéis, que a alteração do diâmetro induziu numa melhoria que não é observada nos gráficos.

### 7.1. Trabalho futuro e balanço do estágio

Este estudo pode ser visto como o primeiro passo na resolução deste problema. A continuação deste trabalho passará por estudar outros processos na manufatura deste tipo de anel, nomeadamente a retificação de perfil e o bombeamento. Tal deverá passar pela modificação dos diâmetros de processo para cada um dos processos individualmente e analisar o seu impacto na cota h55 e na circularidade referentes às extremidades do anel.

Por fim, considero que este estágio foi positivo, porque através da modificação do diâmetro de processo do enrolamento observou-se um melhoramento no estudo dos parâmetros do anel em questão. Outro aspeto que este estágio me proporcionou foi o contato com o mundo do trabalho, tendo-me permitido por em prática alguns conhecimentos

adquiridos ao longo do percurso académico. É também de referir que as pessoas com quem trabalhei me ajudaram a atingir o objetivo inicial.



---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bibliografia da Mahle
- [2] João Manuel R.S. Tavares. CFAC-concepção e fabrico assistidos por computadores-Toleranciamento geométrico. Faculdade da Universidade do Porto, Porto
- [3] Prakash M.dixit, Uday S. Dixit, “Modeling of Metal Forming and Machining Processes”, Springer
- [4] R. M. Natal, Jorge e L.M.J.S, Dinis - “Teoria da Plasticidade” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005
- [5] Luís Nascimento (2005)– “Alívio de Tensões em anéis de aço” Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra
- [6] Vladimir Kobelev (2009), “Theory of Optimal Residual stresses and defects distribution”, Springer
- [7] Óscar Fernando B. Pires, (2014)-“Melhoria da previsão do fenómeno de retorno elástico em processos de estampagem multi-etapa”, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra
- [8] Vanks Estevão “Tensão de corte” acedido a 5 de fevereiro. Disponível em <http://www.efeitojoule.com/2013/03/tensao-e-tensao-de-cisalhamento.html>
- [9] Segismundo Maria Themudo de Castro de Bragança, (2012) - “Optimização da Configuração de Reforços numa classe de painéis planos considerando efeitos de plasticidade”, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico
- [10] William D. Callister Jr. (2001) – “Fundamental of Materials Science and Engineering “-5º Ed , John Wiley and Sons
- [11] Mario Nuno Valente (2004) – “Introdução à Mecânica de Materiais”, ESTIG
- [12] Joachim Roesler, Harald Harders, Martin Baeker – “Mechanical Behaviour of Engineering Materials”, Springer
- [13] Rogério Colaço –“ Materiais de construção- aços”, Instituto Superior Técnico , Lisboa
- [14] José Valdemar Fernandes – “Elasticidade e Plasticidade”, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, 2007
- [15] José L. Alves (2003). Simulação numérica do processo de estampagem de chapas metálicas - Modelação mecânica e métodos numéricos. Universidade do Minho.
- [16] André João Guerreiro dos Reis Cabrita (2009) – “Análise da não proporcionalidade entre tensões em carregamentos multiaxiais no aço inox austenítico”, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico,

[17] ISO 6621-2 – Motores de Combustão Interna- Anéis de Pistão- parte 2: principio de medição para inspeção

[18] Pedro Manuel Pinto Mota (2007),-”Estudo e Implementação da Metodologia Smed e o seu Impacto numa Linha de Produção” Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico

## ANEXO A

		OPA 652009802														
		5º			90º			180º			270º			355º		
		h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set
	min	0 075	0 080	0 000	0 060	0 045	0 000	0 060	0 055	0 000	0 060	0 060	0 000	0 090	0 065	0 000
	max	0 130	0 130	0 006	0 095	0 090	0 008	0 110	0 100	0 009	0 105	0 100	0 006	0 130	0 105	0 005
0 000	0 000	0	0	2	0	0	1	0	0	2	0	0	2	0	0	3
0 001	0 005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
0 002	0 010	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0
0 003	0 015	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	2
0 004	0 020	0	0	4	0	0	2	0	0	3	0	0	1	0	0	0
0 005	0 025	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	2
0 006	0 030	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0 007	0 035	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 008	0 040	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 009	0 045	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0 010	0 050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 055	0	0		0	1		0	2		0	0		0	0	
	0 060	0	0		1	0		2	0		3	2		0	0	
	0 065	0	0		1	2		0	2		0	1		0	1	
	0 070	0	0		2	1		1	2		0	2		0	0	
	0 075	1	0		0	1		0	0		1	1		0	0	
	0 080	1	1		2	1		2	1		1	0		0	1	
	0 085	1	2		2	2		2	1		2	1		0	2	
	0 090	2	1		0	1		2	1		1	1		1	1	
	0 095	0	0		2	0		1	0		1	1		1	2	
	0 100	0	0		0	0		0	1		0	1		0	1	
	0 105	3	1		0	0		0	0		1	0		2	2	
	0 110	1	1		0	0		1	0		0	0		2	0	
	0 115	0	2		0	0		0	0		0	0		2	0	
	0 120	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 125	0	1		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 130	1	1		0	0		0	0		0	0		2	0	
	0 135	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 140	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 145	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 150	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
<b>A</b>	<b>1</b>	0 090	0 130	0 004	0 060	0 085	0 008	0 070	0 090	0 003	0 060	0 100	0 003	0 110	0 095	0 001
	<b>2</b>	0 105	0 085	0 002	0 080	0 045	0 005	0 085	0 055	0 005	0 080	0 070	0 004	0 130	0 080	0 001
	<b>3</b>	0 085	0 115	0 004	0 095	0 085	0 004	0 090	0 080	0 004	0 105	0 075	0 001	0 115	0 095	0 003
	<b>4</b>	0 090	0 085	0 006	0 080	0 065	0 003	0 085	0 065	0 000	0 090	0 060	0 000	0 110	0 065	0 005
	<b>5</b>	0 110	0 110	0 004	0 085	0 065	0 000	0 095	0 065	0 004	0 085	0 070	0 000	0 130	0 100	0 003
	<b>6</b>	0 105	0 090	0 003	0 070	0 090	0 005	0 060	0 100	0 005	0 060	0 090	0 001	0 105	0 090	0 000
	<b>7</b>	0 130	0 115	0 000	0 095	0 055	0 006	0 110	0 055	0 004	0 095	0 060	0 002	0 115	0 105	0 000
	<b>8</b>	0 105	0 105	0 000	0 085	0 080	0 002	0 080	0 070	0 002	0 085	0 065	0 002	0 105	0 085	0 005
	<b>9</b>	0 080	0 125	0 004	0 070	0 070	0 004	0 090	0 070	0 000	0 075	0 085	0 001	0 090	0 105	0 000
	<b>10</b>	0 075	0 080	0 006	0 065	0 075	0 007	0 060	0 085	0 009	0 060	0 095	0 006	0 095	0 085	0 001
<b>Mediana:</b>	0 105			0 078			0 080			0 078			0 103			

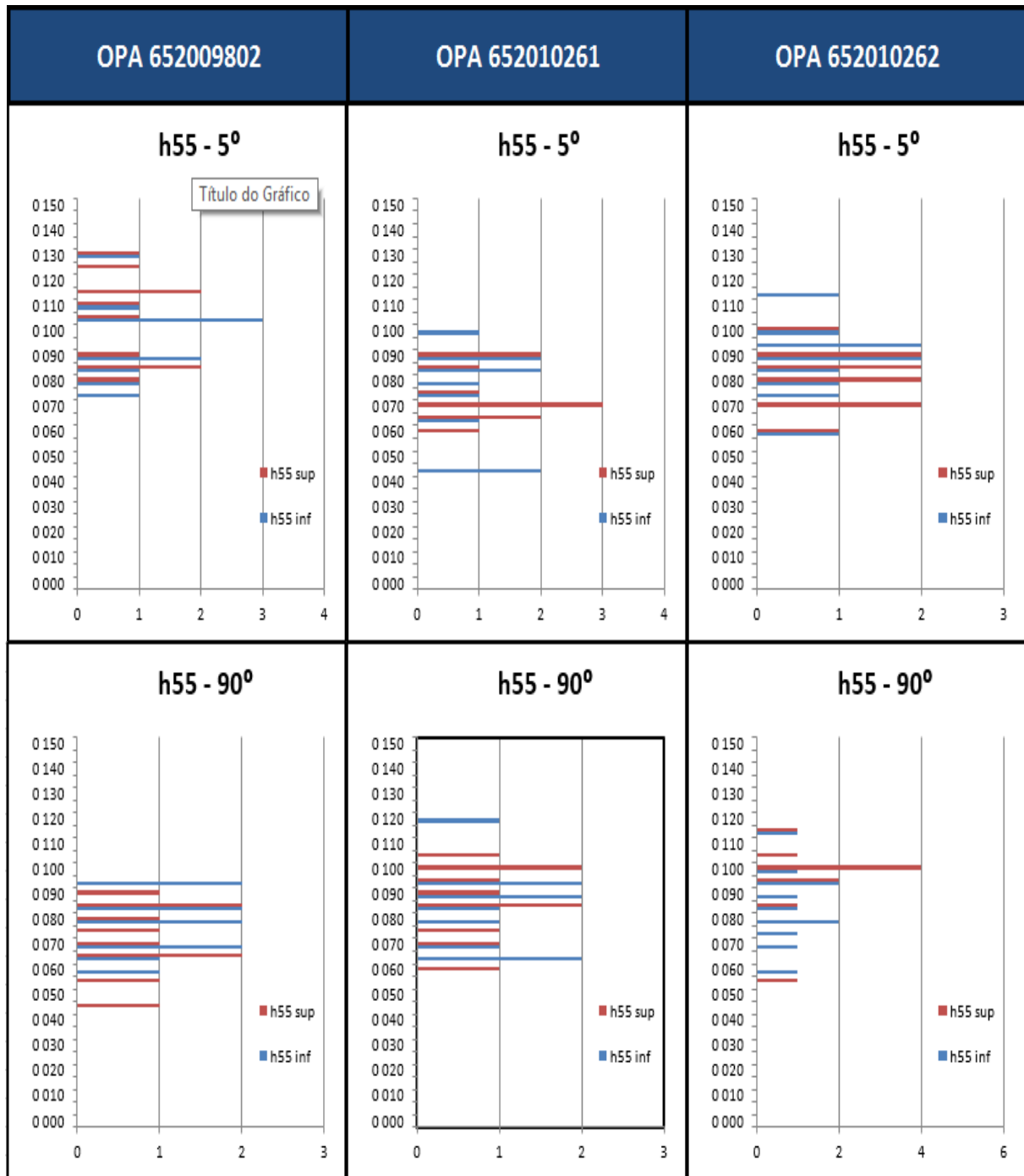
Enrolamento e corte de anéis de aço

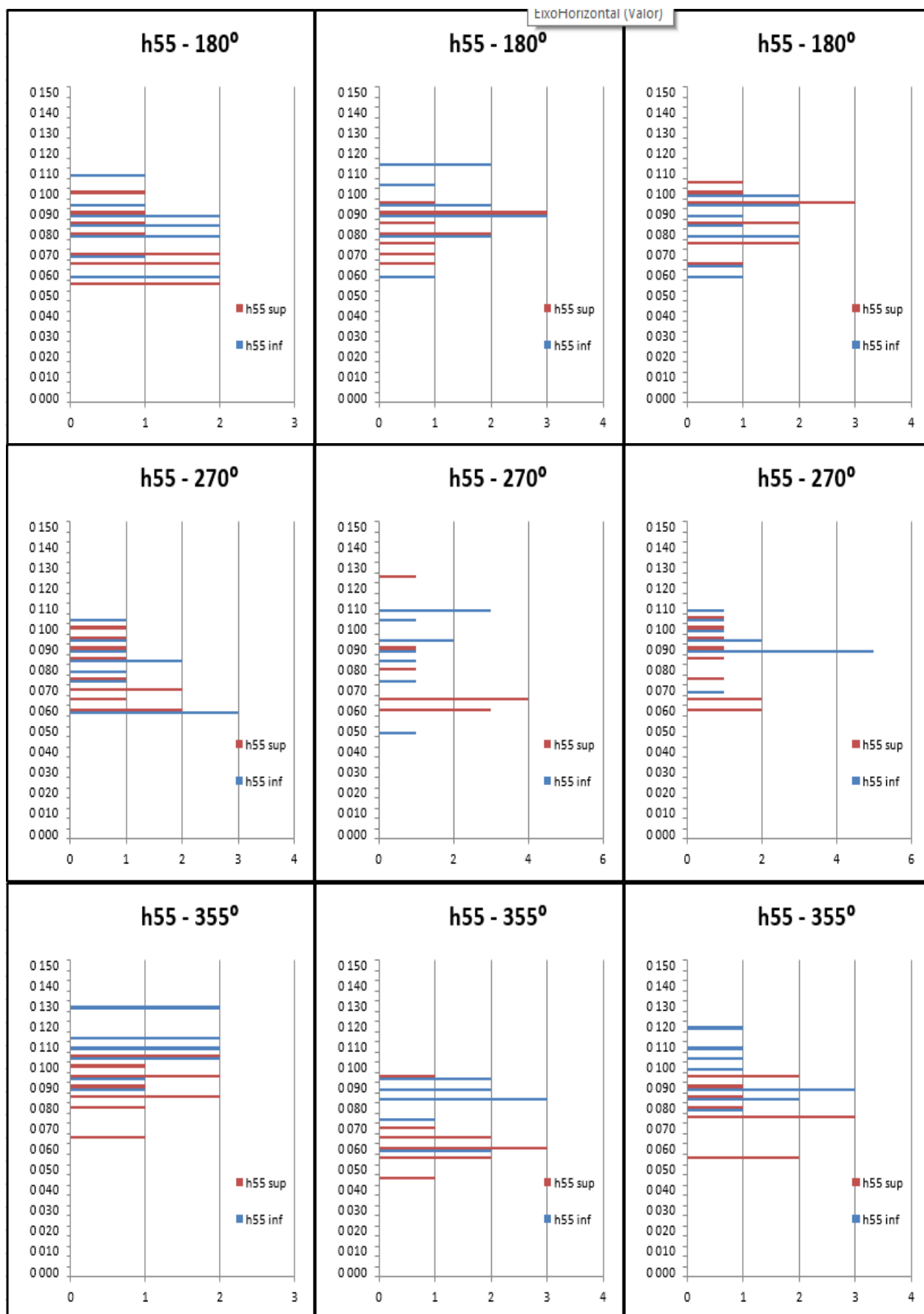
		OPA 652010261														
		5º			90º			180º			270º			355º		
		h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set
	min	0 045	0 060	0 004	0 065	0 060	0 004	0 060	0 065	0 005	0 050	0 060	0 003	0 060	0 045	0 003
	max	0 100	0 090	0 007	0 120	0 105	0 010	0 115	0 095	0 009	0 110	0 125	0 006	0 095	0 095	0 006
0 000	0 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 001	0 005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 002	0 010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 003	0 015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	3
0 004	0 020	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	4
0 005	0 025	0	0	5	0	0	1	0	0	3	0	0	2	0	0	1
0 006	0 030	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	2
0 007	0 035	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
0 008	0 040	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0 009	0 045	2	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	1	0
0 010	0 050	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	0 055	0	0		0	0		0	0		0	0		0	2	
	0 060	0	1		0	1		1	0		0	3		2	3	
	0 065	1	2		2	0		0	1		0	4		0	2	
	0 070	0	3		1	1		0	1		0	0		0	1	
	0 075	1	1		0	1		0	1		1	0		1	0	
	0 080	1	0		1	0		2	2		0	1		0	0	
	0 085	2	1		1	2		0	1		1	0		3	0	
	0 090	2	2		2	1		3	3		1	1		2	0	
	0 095	0	0		2	1		2	1		2	0		2	1	
	0 100	1	0		0	2		0	0		0	0		0	0	
	0 105	0	0		0	1		1	0		1	0		0	0	
	0 110	0	0		0	0		0	0		3	0		0	0	
	0 115	0	0		0	0		2	0		0	0		0	0	
	0 120	0	0		1	0		0	0		0	0		0	0	
	0 125	0	0		0	0		0	0		0	1		0	0	
	0 130	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 135	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 140	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 145	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 150	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
<b>A n e l</b>	<b>1</b>	0 085	0 065	0 004	0 080	0 085	0 005	0 080	0 095	0 005	0 090	0 080	0 005	0 085	0 055	0 003
	<b>2</b>	0 065	0 065	0 005	0 095	0 095	0 004	0 105	0 075	0 005	0 110	0 060	0 004	0 075	0 055	0 005
	<b>3</b>	0 080	0 075	0 006	0 090	0 085	0 008	0 095	0 090	0 007	0 105	0 060	0 004	0 095	0 065	0 004
	<b>4</b>	0 075	0 060	0 007	0 065	0 090	0 009	0 080	0 085	0 005	0 095	0 065	0 004	0 090	0 060	0 006
	<b>5</b>	0 085	0 070	0 005	0 095	0 075	0 008	0 115	0 065	0 007	0 110	0 060	0 003	0 095	0 045	0 004
	<b>6</b>	0 090	0 085	0 005	0 090	0 100	0 009	0 090	0 090	0 009	0 085	0 065	0 006	0 085	0 065	0 004
	<b>7</b>	0 100	0 070	0 005	0 085	0 060	0 009	0 090	0 080	0 008	0 095	0 065	0 003	0 090	0 060	0 003
	<b>8</b>	0 090	0 070	0 007	0 120	0 070	0 008	0 115	0 070	0 006	0 110	0 065	0 005	0 085	0 070	0 006
	<b>9</b>	0 045	0 090	0 006	0 070	0 100	0 009	0 060	0 090	0 006	0 050	0 125	0 003	0 060	0 095	0 004
	<b>10</b>	0 045	0 090	0 005	0 065	0 105	0 010	0 095	0 080	0 007	0 075	0 090	0 003	0 060	0 060	0 003
<b>Mediana:</b>		0 075			0 088			0 090			0 083			0 068		

		OPA 652010262														
		5º			90º			180º			270º			355º		
		h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set	h55 inf	h55 sup	off-set
	min	0 060	0 060	0 007	0 060	0 055	0 009	0 060	0 065	0 005	0 070	0 060	0 004	0 080	0 055	0 003
	max	0 115	0 100	0 011	0 115	0 115	0 012	0 100	0 105	0 009	0 110	0 105	0 008	0 120	0 095	0 009
	0 000	0 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 001	0 005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 002	0 010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 003	0 015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0 004	0 020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2
	0 005	0 025	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	1
	0 006	0 030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	0 007	0 035	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	2
	0 008	0 040	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	3
	0 009	0 045	0	0	3	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1
	0 010	0 050	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 055	0	0		0	1		0	0		0	0		0	2	
	0 060	1	1		1	0		1	0		0	2		0	0	
	0 065	0	0		0	0		1	1		0	2		0	0	
	0 070	0	2		1	0		0	0		1	0		0	0	
	0 075	1	0		1	0		0	2		0	1		0	3	
	0 080	1	2		2	0		2	0		0	0		1	1	
	0 085	1	2		1	1		1	2		0	1		2	1	
	0 090	2	2		1	0		1	0		5	1		3	1	
	0 095	2	0		2	2		2	3		2	1		0	2	
	0 100	1	1		1	4		2	1		1	1		1	0	
	0 105	0	0		0	1		0	1		1	1		1	0	
	0 110	0	0		0	0		0	0		1	0		1	0	
	0 115	1	0		1	1		0	0		0	0		0	0	
	0 120	0	0		0	0		0	0		0	0		1	0	
	0 125	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 130	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 135	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 140	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 145	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	0 150	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
<b>A</b> <b>n</b> <b>e</b> <b>i</b>	<b>1</b>	0 095	0 100	0 009	0 100	0 100	0 010	0 100	0 095	0 008	0 095	0 105	0 007	0 080	0 090	0 007
	<b>2</b>	0 060	0 085	0 009	0 075	0 115	0 012	0 080	0 085	0 007	0 110	0 065	0 006	0 085	0 055	0 008
	<b>3</b>	0 115	0 080	0 008	0 095	0 095	0 009	0 100	0 095	0 007	0 100	0 095	0 006	0 120	0 080	0 005
	<b>4</b>	0 075	0 090	0 011	0 090	0 100	0 010	0 085	0 095	0 009	0 070	0 085	0 008	0 085	0 095	0 008
	<b>5</b>	0 090	0 060	0 010	0 115	0 095	0 010	0 095	0 085	0 008	0 105	0 090	0 008	0 100	0 075	0 007
	<b>6</b>	0 085	0 070	0 009	0 080	0 055	0 011	0 090	0 065	0 008	0 090	0 065	0 004	0 090	0 075	0 003
	<b>7</b>	0 095	0 090	0 011	0 060	0 100	0 011	0 060	0 075	0 005	0 090	0 060	0 004	0 105	0 055	0 008
	<b>8</b>	0 080	0 085	0 011	0 070	0 105	0 012	0 080	0 100	0 007	0 090	0 060	0 004	0 110	0 095	0 004
	<b>9</b>	0 090	0 070	0 011	0 085	0 100	0 010	0 095	0 105	0 005	0 095	0 100	0 005	0 090	0 075	0 009
	<b>10</b>	0 100	0 080	0 007	0 080	0 085	0 010	0 065	0 075	0 009	0 090	0 075	0 005	0 090	0 085	0 004
<b>Mediana:</b>		0 085			0 095			0 088			0 090			0 088		



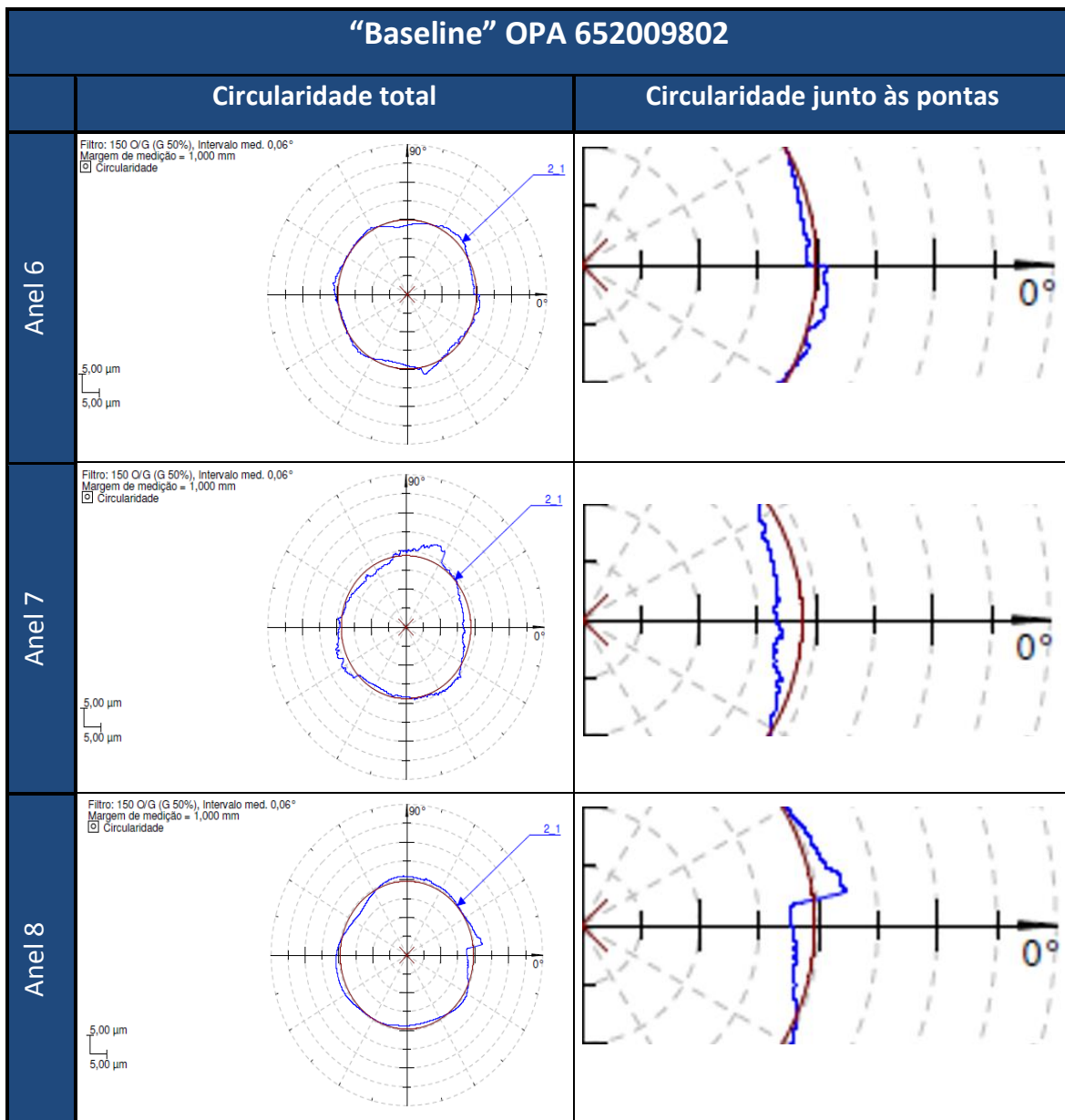
**ANEXO B**

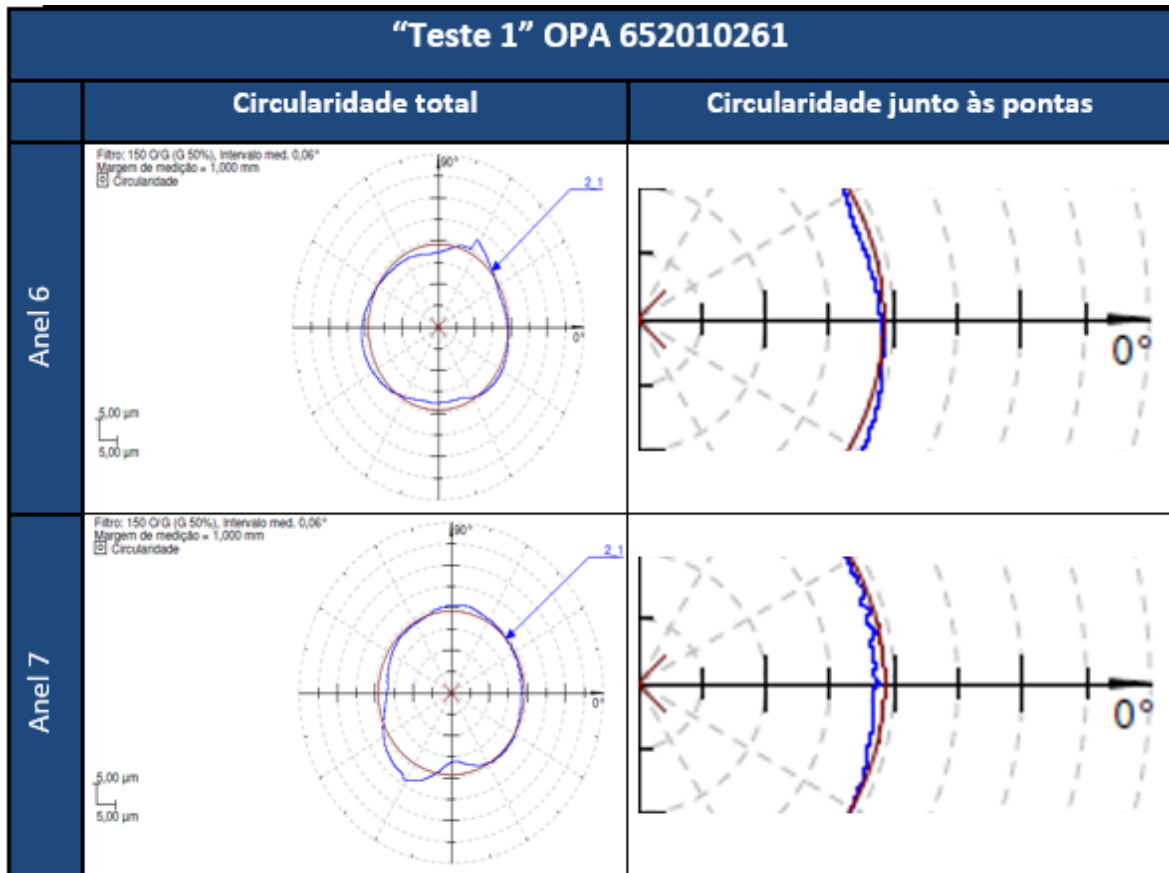
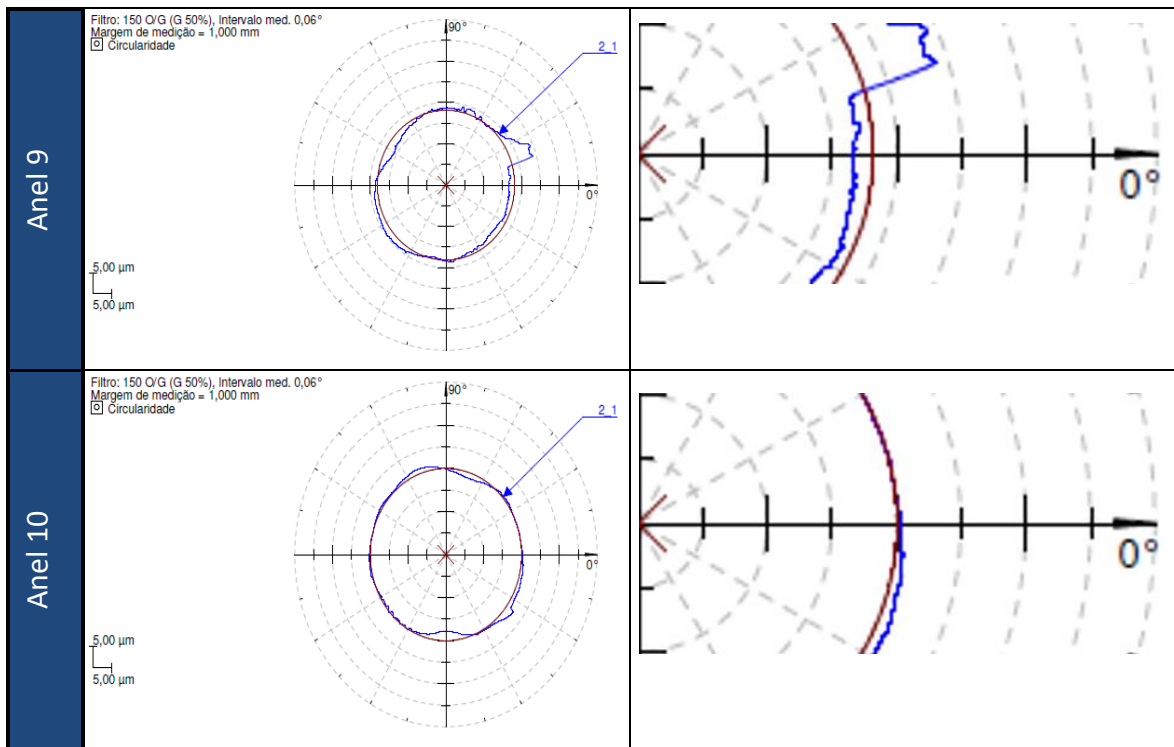


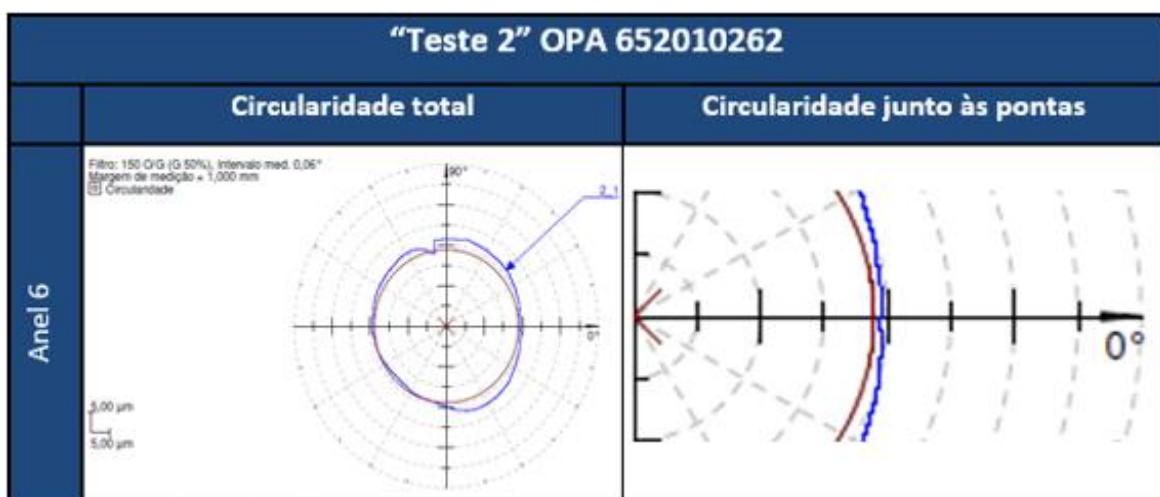
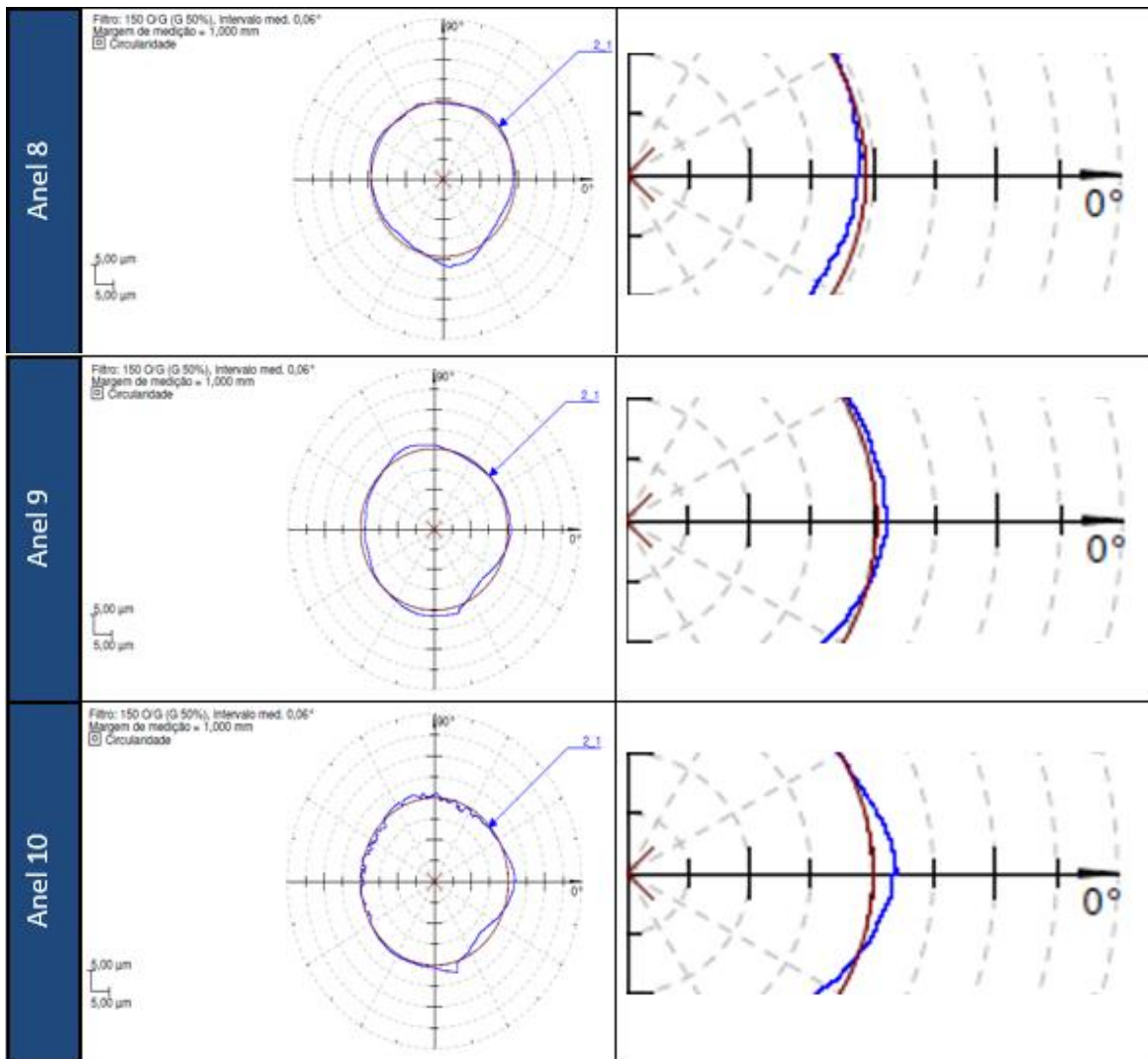


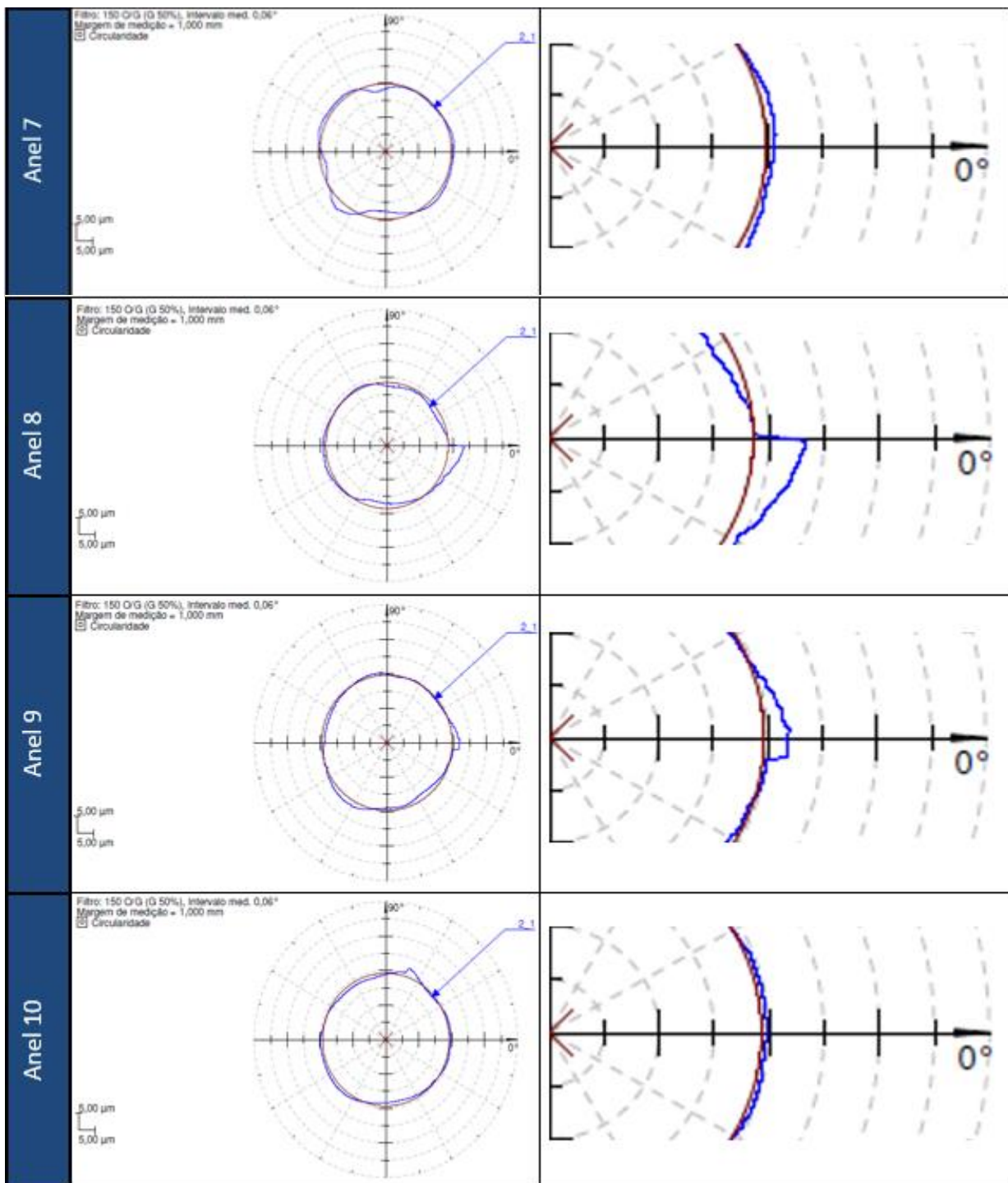


# ANEXO C

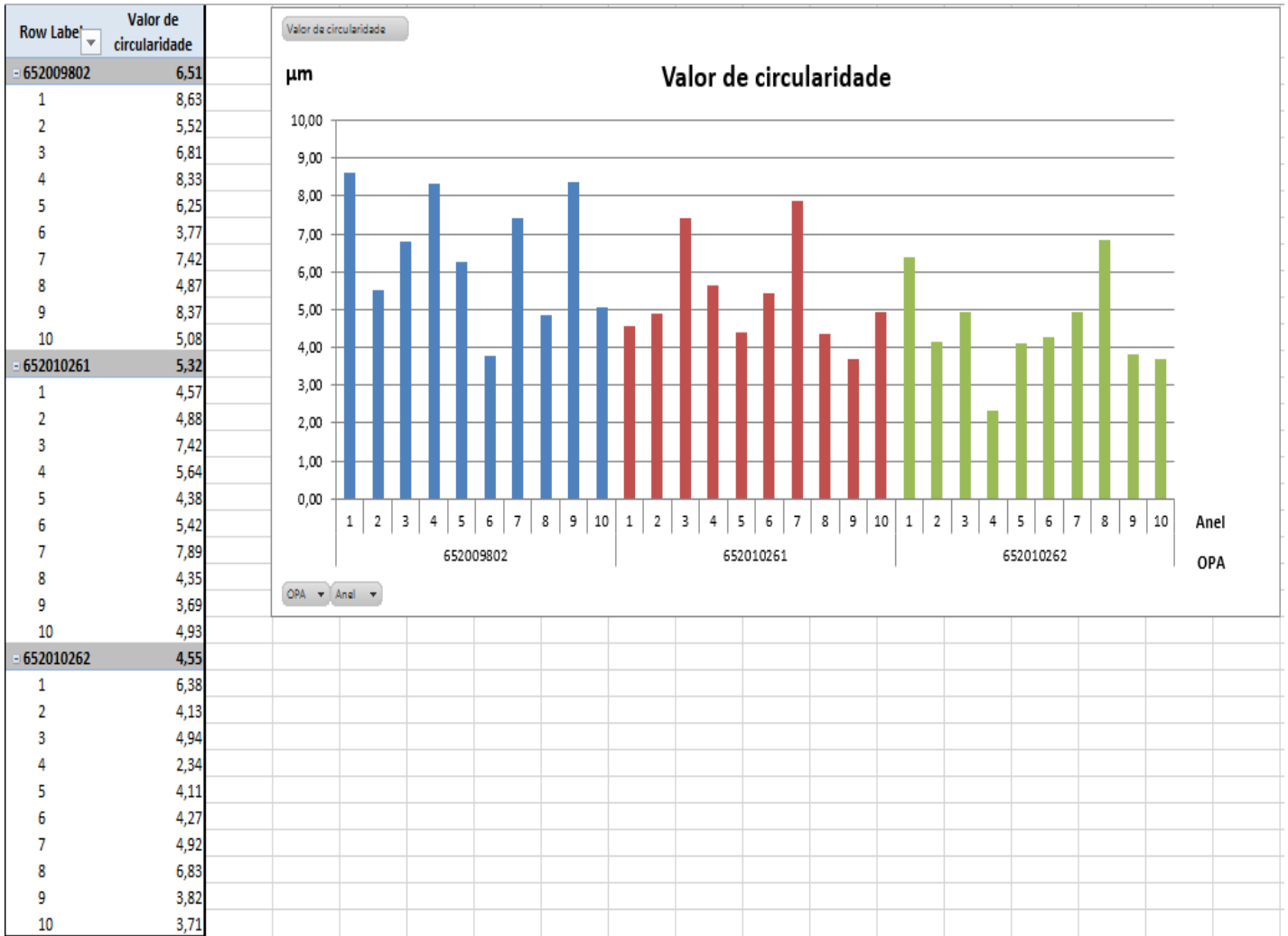








## ANEXO D





## ANEXO E

AN72484 - 1,99 mm de altura [1,50 – 2,00]				
V. De Avanço [mm/min]	Esforço [%]		Rebarba	Queimado
	Mín.	Max.		
160	19	20	Não	Não
165	19	20	Não	Não
170	19	20	Não	Não
175	19	20	Não	Não
180	19	20	Não	Não
185	19	20	Não	Não
190	19	20	Não	Não
195	19	20	Não	Não
200	20	21	Não	Não
205	20	21	Não	Não
210	20	21	Não	Não
215	20	21	Sim	Não
220	20	21	Sim	Sim
225	20	21	Sim	Sim
230	20	21	Sim	Sim

AN72106 - 1,98 mm de altura [1,50 – 2,00]				
V. De Avanço [mm/min]	Esforço [%]		Rebarba	Queimado
	Mín.	Max.		
160	18	19	Não	Não
165	18	19	Não	Não
170	18	19	Não	Não
175	18	19	Não	Não
180	18	19	Não	Não
185	18	19	Não	Não
190	19	20	Não	Não
195	19	20	Não	Não
200	19	20	Não	Não
205	19	20	Não	Não
210	19	20	Não	Não
215	19	20	Não	Não
220	19	20	Não	Não
225	19	20	Sim	Não
230	19	20	Sim	Não
235	19	20	Sim	Não

AN72398 - 3,03 mm de altura [2,50-3,00]				
V. De Avanço [mm/min]	Esforço [%]		Rebarba	Queimado
	Mín.	Max.		
130	18	19	Não	Não
135	19	20	Não	Não
140	19	20	Não	Não
145	20	21	Não	Não
150	20	21	Não	Não
155	20	21	Não	Não
160	20	21	Não	Não
165	20	21	Sim	Não
170	20	21	Sim	Sim
175	20	21	Sim	Sim

AN70445 - 3,03 mm de altura [2,50-3,00]				
V. De Avanço [mm/min]	Esforço [%]		Rebarba	Queimado
	Mín.	Max.		
130	18	19	Não	Não
135	19	20	Não	Não
140	19	20	Não	Não
145	20	21	Não	Não
150	20	21	Não	Não
155	20	21	Não	Não
160	20	21	Não	Não
165	20	21	Sim	Não
170	20	21	Sim	Sim
175	20	21	Sim	Sim

AN25454 - 3,5mm de altura [3,50-4,00]				
V. De Avanço [mm/min]	Esforço [%]		Rebarba	Queimado
	Mín.	Max.		
120	20	21	Não	Não
125	20	21	Não	Não
130	21	22	Não	Não
135	21	22	Não	Não
140	21	22	Não	Não
145	21	22	Sim	Não
150	22	23	Sim	Sim
155	22	23	Sim	Sim
160	22	23	Sim	Sim

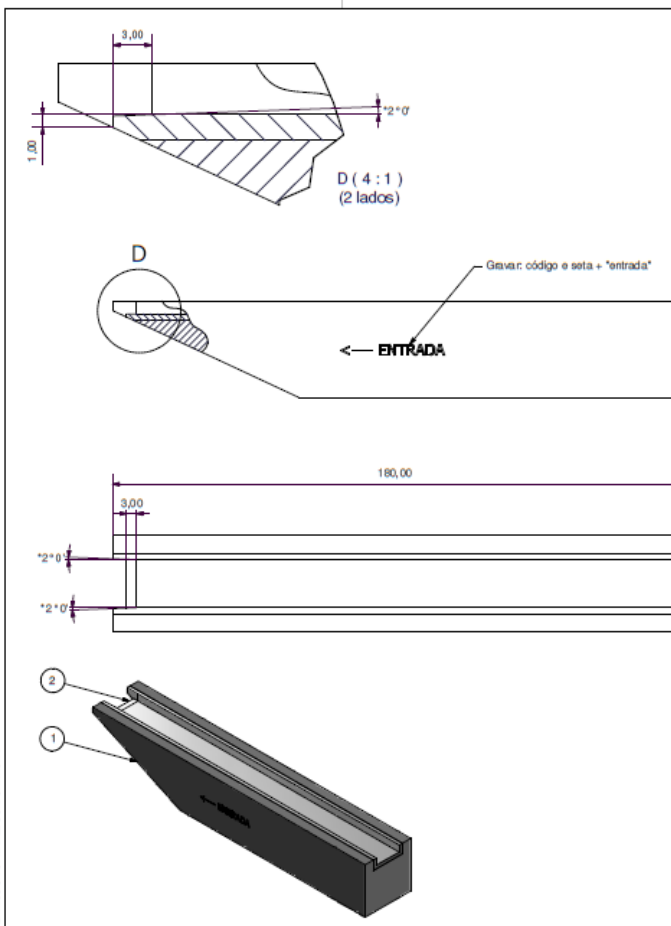




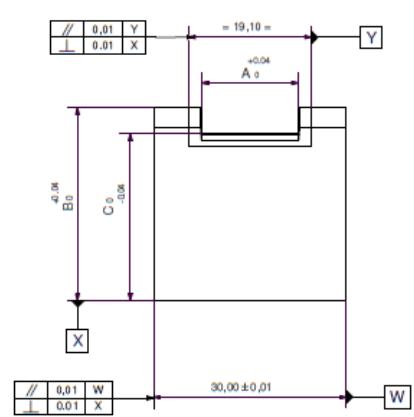
# ANEXO F

CAD DRAWING, NO MANUAL CHANGES.

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF MAHLE CORPORATION. IT IS FURNISHED TO YOU FOR CONFIDENTIAL INFORMATION PURPOSE ONLY AND IS NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM, WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF MAHLE CORPORATION.



PART LIST				
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL	REFERENCE
1	1	Corpo	WN#1.6582	ENI01-006-02
2	1	Pastilha	Metá duro ISO K-01	ENI01-006-03



0.8/√ Typical IT9 Middle

Nota:  
 - Chanfrar cantos  $0.5 \times 45^\circ$   
 - Dimensões não indicadas ver norma RD-ENAB-01  
 - \* polir chanfros

GENERAL TOLERANCES FOR DIMENSIONS WITHOUT INDIVIDUAL INDICATION ISO 2768 - mK		DIVISION PISTON RINGS - PT				<b>MAHLE</b>	
00	28-11-2014	Nogueira	REFERENCE	DESIGNED	CHECKING	APPROVED	HEAT TREAT
Nº	DATE	SIGN.	2014-600 04-3	NAME	Júlio Dantas	L.Nascimento	
REVISIONS		DATE	28-11-2014	28-11-2014	28-11-2014		
TITLE ENI01-Enroladora de anéis I-Shaped- Ferramental						DRAWING NUMBER	
Guia Central						ENI01-006-01-3	



## ANEXO G

MAHLE		PLANO DE REACÇÃO - OCORRÊNCIAS NA OPERAÇÃO DE ALÍVIO DE TENSÕES (AT)			
		Normas Aplicáveis: PO-PS-ATEN-01; PO-PS-ATEN-02; PS-ENAF-01			
FORNO/CARGA:	AN:	OPA A ANALISAR:	QTDE:	TIPO DE ANEL:	
DATA:	AN:	OPA A ANALISAR:	QTDE:	<input type="checkbox"/> Comp. HDD <input type="checkbox"/> Segmentos	
OPERADOR:	AN:	OPA A ANALISAR:	QTDE:	<input type="checkbox"/> Comp. OTTO/HSD <input type="checkbox"/> I-Shaped	
Tipo de ocorrência		Motivo	Alarmes	Acções	Resp.
1 - Ciclo interrompido					
2 - OLD fora do esp.					
Etapa do processo onde ciclo foi interrompido (Ocorr. 1)			Acções conforme Tabela 1 (ocorr. 1)		
Aquecimento : <input type="checkbox"/>			Volta a fazer AT	<input type="checkbox"/>	Resp. Data
Alívio de Tensões: <input type="checkbox"/>			Iniciar PRG Ajustado DEN	<input type="checkbox"/>	_____
Arrefecimento: <input type="checkbox"/>			Alerta Den	<input type="checkbox"/>	_____
			Pode prosseguir	<input type="checkbox"/>	_____
OLD fora do especificado (ocorr. 2)			Acções conforme Tabela 2 (ocorr. 2)		
OLD Elevado: <input type="checkbox"/>			Aprovado	<input type="checkbox"/>	Resp. Data
			Volta a fazer AT	<input type="checkbox"/>	_____
OLD Baixo: <input type="checkbox"/>			Chamar DEN	<input type="checkbox"/>	_____
<b>OBSERVAÇÕES:</b>					
PARECER FINAL SOBRE A CARGA DE ANÉIS					
<input type="checkbox"/> APROVADA			<input type="checkbox"/> REPROVADA		
Resp. DMF:	Data:	Resp. DEN:	Data:	Resp. DQL:	Data:

**Instruções:**

- 1ª Preencher os dados relativos à ocorrência no plano de controle da operação de FAT (FORM-IC-284-394\_AÇO) - (1)**
- 2ª Registrar as condições de processo e agir conforme plano de reacção Form\_xz**
- 3ª Registrar as OPAs da carga sujeita a ocorrência, com a respectiva informação do AN, lote e quantidade de Anéis - (1)**
- 4ª Dar a conhecer o Registo da Ocorrência aos respectivos responsáveis da manufactura, engenharia e qualidade para avaliar a gravidade da ocorrência - (1)**
- 5ª Os responsáveis da manufactura, engenharia e qualidade tem de analisar a ocorrência e avaliar o impacto sobre a qualidade do produto - (1,2,3)**
- 6ª Tomar decisão quanto ao destino a dar à carga de anéis - (1,2,3)**
- 7ª Anexar este registo de ocorrência, devidamente assinado, junto do plano de controlo da operação de NIG das OPAs afectadas - (1,2,3)**

**Obs:**

(1) Responsável DMF; (2) Responsável DEN; (3) Responsável DQL

**Tabela 1 - Plano reacção para cargas interrompidas durante o processo (ocorrecia 1)**

Fase do processo onde o ciclo foi interrompido	Tipo de anel	Ações do operador para Alívio Tensões
Durante o aquecimento	Todos os anéis	- Inicia ciclo conforme IUA
Durante a o estágio de Alívio de Tensões	Todos os anéis	- Alerta DEN - Iniciar PRG ajustado pelo DEN
Durante o arrefecimento	Todos os anéis	- Pode prosseguir

**Tabela 2 - Plano reacção para problemas de OLD (ocorrecias 2)**

Forno	OLD Medido após FAT	Anel compressão MDD/HDD (Ø ≥ 100mm)	Anel compressão Otto/HSD (Ø < 100mm)
OLD FAT Abaixo da média do especificado	OLD [-0,20 a -0,10]	Não aplicado	Pode prosseguir
	OLD [-0,28 a -0,20]	Pode prosseguir	Chamar DEN
	OLD [-0,50 a -0,28]	Chamar DEN	Chamar DEN
OLD FAT Acima da média do especificado	OLD [+0,12 a +0,20]	Não aplicado	Fazer FAT
	OLD [+0,20 a +0,28]	Pode prosseguir	Chamar DEN
	OLD [+0,28 a +0,50]	Fazer FAT	Chamar DEN