



**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Mecânica  
2017

**Luís Miguel Martins  
Paradinha**

**Definição de Metodologia de Previsão de  
Funcionamento de Produto em Serviço de  
Auxílio à Conceção e Fabrico**





**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Mecânica  
2017

**Luís Miguel  
Martins  
Paradinha**

**Definição de Metodologia de Previsão de  
Funcionamento de Produto em Serviço de  
Auxílio à Conceção e Fabrico**

Relatório apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica Prof.<sup>a</sup> Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia, Professora do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e da Eng.<sup>a</sup> Andreia Cristina Costa, diretora do Departamento de Inovação da OLI - Sistemas Sanitários, SA.



**o júri**

presidente

Prof. Doutor Carlos Alberto Moura Relvas  
Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro.

vogal – arguente principal

Prof. Doutor Joel Oliveira Correia Vasco  
Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria. Instituto Politécnico de Leiria.

vogal – orientador

Prof.<sup>a</sup> Doutora Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira  
Correia  
Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro.



## **Agradecimentos**

À minha Orientadora, Prof.<sup>a</sup> Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia, pela sua atitude pedagógica e preocupação em preparar os seus alunos de uma forma correta. A sua visão teve, e acredito que terá, um grande impacto no meu futuro enquanto profissional.

À minha Co-Orientadora, Eng.<sup>a</sup> Andreia Cristina Costa, pela preocupação com a minha integração na organização, bem como disponibilidade para garantir os meios necessários à concretização deste projeto.

Aos meus Pais, por tudo.

A todos os meus Amigos.

A todo o pessoal da OLI, em especial aos membros do DDD e ao Marcelo, pela disponibilidade mostrada para transmitirem o seu conhecimento.

Ao José Sousa e ao Pedro Miguel Cruz pela sua amizade e capacidade motivadora.

Ao João Rocha, pelo conhecimento partilhado, crucial na realização deste trabalho.

Aos meus colegas de curso. Ao Rui Miguel Oliveira e ao Manel Martins.

À OLI – Sistemas Sanitários, SA., pelo apoio financeiro prestado durante a realização deste estágio.





**Palavras-chave**

Moldação por injeção; Polímeros; Controlo estatístico de processo; Toleranciamento estatístico; Análise de modos de falha.

**Resumo**

A competitividade do mercado atual obriga a que, cada vez mais, as organizações trabalhem numa direção de aumento dos padrões de qualidade, redução de custos e melhoria contínua dos seus processos. A OLI - Sistemas Sanitários SA, implementou no passado ferramentas de apoio à produção baseadas na ideologia de Lean Manufacturing, havendo ainda assim, espaço para melhorar ao nível do desenvolvimento do produto. Nesse sentido, o principal objetivo do presente trabalho foi estudar o fluxo de trabalho da empresa e o seu processo produtivo, de forma a poder avaliar a implementação de uma metodologia preditiva de apoio ao projeto, que por sua vez pudesse permitir a implementação de ações corretivas direcionadas para aumentar a qualidade dos componentes e da montagem final do produto. Estudou-se assim um produto final, atualmente em produção, que apresenta ainda algumas falhas que padecem de ser corrigidas, e de que forma as ações corretivas levadas a cabo para corrigir o problema, poderiam ser implementadas numa fase inicial do projeto, nomeadamente numa análise FMEA. Por fim, realizaram-se ensaios de caracterização metrológica, numa tentativa de quantificar a variabilidade do processo produtivo para este produto, e com essa informação tentou-se estabelecer uma metodologia de apoio ao projeto numa fase de desenho, nomeadamente uma análise de tolerâncias.



**Keywords**

Injection molding; Polymers; Statistical process control; Statistic tolerancing; Failure mode analysis.

**Abstract**

Today's market competitiveness demands that organizations work increasingly, in the direction of an increase of their quality standards, cost reduction and continuous improvement of their processes. OLI – Sistemas Sanitários SA, has implemented quality tools to improve its production processes, based on the well-known Lean Manufacturing ideology. Despite of this, there's a lot of room for improvement at a level product development. This being said, the main goal of the present work was to study the company's workflow and production process, to better be able to evaluate the implementation of a methodology of failure prediction in support of the project, which would itself allow to undertake corrective actions oriented to the increase of quality of components and final assembly. A final product with several failures, currently in production, has been studied, in order to analyze and correct those failures, and conclude in which way corrective actions could be carried out in an initial phase of the project, namely in a FMEA analysis. Lastly, measurements were done in the attempt to study the process' variability for this product, information needed to try to implement a methodology of support of the project in a design stage, namely a tolerance stack analysis.



# Índice

Índice de Abreviaturas e Nomenclatura .....	15
Índice de Figuras .....	16
Índice de Tabelas.....	17
1. Enquadramento e Objetivos.....	1
2. Fluxo do Projeto OLI.....	2
2.1 Qualidade na OLI.....	2
2.2 Fase Zero (Definição de Requisitos) .....	3
2.2.1 FMEA .....	4
2.3 Fase Um (Desenvolvimento e Pré-projeto).....	5
2.4 Fase Dois (Execução do Molde e Preparação de Industrialização).....	6
2.5 Fase Três (Testes de Vida e Validação).....	7
3. Sistemas Sanitários .....	9
3.1 Processo Produtivo .....	11
3.1.1 Moldação por Injeção .....	11
3.1.2 Contração.....	13
3.1.3 Polímeros Termoplásticos.....	14
4. Toleranciamento.....	19
4.1 Enquadramento.....	19
4.2 Princípio da Envolvente .....	19
4.3 Princípio da Independência.....	20
4.4 Toleranciamento na OLI.....	21
4.5 Análise de Tolerâncias .....	21
4.4.1 Definição da Cadeia de Cotas .....	22
4.4.1 Método do Pior Caso (WC).....	23
4.4.2 Método RSS .....	24
4.6 Controlo Estatístico do Processo.....	25
4.6.1 Ideologia “Six Sigma” na qualidade.....	28
5. Válvula de Descarga URAL.....	31
5.1 Componentes da Válvula URAL.....	31
5.2 Funcionamento da Válvula URAL.....	34
5.3 Análise de Falhas da Válvula URAL .....	37
6. Definição do Problema .....	41
7. Ensaios de caracterização metrológica.....	45

7.1	Recolha de dados .....	45
7.2	Tratamento estatístico dos dados.....	47
8.	Definição de ações corretivas a implementar em fase de projeto.....	49
8.1	Análise de Tolerâncias pelo Método do Pior Caso.....	51
8.2	Análise pelo Método RSS.....	54
8.2.2	Controlo Estatístico do Processo.....	57
9.	Conclusões.....	60
10.	Trabalhos Futuros.....	61
11.	Bibliografia.....	62
12.	Anexos.....	64
	Anexo A.....	64
	Anexo B.....	65
	Anexo C.....	68
	Anexo D.....	79

# Índice de Abreviaturas e Nomenclatura

ABS- Acrilonitrilo-butadieno-estireno

ASME - American Society of Mechanical Engineers

ASQ – American Society for Quality

CAD – Computer Aided Design

CMM – Coordinate Measuring Machine

DFMEA - Design Failure Mode and Effects Analysis

EPDM - Etileno-Propileno-Dieno

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

LSL - Limite Inferior Especificado

OLI – OLI – Sistemas Sanitários SA.

POM - Polióxido de metileno

PP- Polipropileno

PS – Poliestireno

RPN – Risk Priority Number

RSS – Root Sum Square

Tg – Temperatura de transição vítrea

Tf – Temperatura de fusão

USL – Limite Superior Especificado

WC – Worst Case

## Índice de Figuras

Figura 1. Parte do organigrama da OLI – Sistemas Sanitários SA. ....	2
Figura 2. Fluxograma da Fase 1 do projeto na OLI. (Imagem cedida pela OLI).....	6
Figura 3. Fluxograma da Fase 2 do projeto na OLI. (Imagem cedida pela OLI).....	7
Figura 4. Fluxograma da Fase 2 do projeto na OLI. (Imagem cedida pela OLI).....	8
Figura 5. Representação de uma montagem completa de um sistema de autoclismo. (Imagem cedida pela OLI) .....	10
Figura 6. Assemblagem final da válvula de descarga URAL. (Imagem cedida pela OLI) .....	11
Figura 7. Ilustração esquemática do processo de moldação por injeção [6]......	13
Figura 8. Conceito de envolvente, para um furo (à esquerda) e para um pino (à direita) [14]. .....	20
Figura 9. Representação de uma curva de distribuição normal e os desvios padrão, e as respetivas probabilidades de ocorrência. ....	29
Figura 10. Representação da curva de distribuição normal da população de um processo com a média desviada do valor nominal [12]......	29
Figura 11. Exemplo de botão de descarga simples (esquerda) e descarga dupla (direita).....	37
Figura 12. Representação tridimensional, em corte, do conjunto em estudo.....	41
Figura 13. Representação 3D da posição de repouso (à esquerda) e posição de acionamento (à direita) do mecanismo.....	43
Figura 14. Gráfico de dispersão das medições recolhidas para uma cota da Alavanca. .....	46
Figura 15. Evolução do desvio padrão para os três materiais em estudo.....	48
Figura 16. Representação em corte da folga analisada e seu respetivo valor nominal. .....	49
Figura 17. Diagrama representativo da cadeia de cotas (em mm) para o problema em estudo. ....	50
Figura 18. Gráfico de dispersão das medições recolhidas para a cota N.....	57
Figura 19. Distribuição estatística do processo relativamente aos limites nominais. .....	58
Figura 20. Fluxograma Ilustrativo da integração da metodologia no fluxo de projeto. .....	59



## Índice de Tabelas

Tabela 1. Classificação dos termoplásticos utilizados na OLI, de acordo com estrutura e importância comercial. ....	16
Tabela 2. Falhas funcionais reportadas da válvula URAL. ....	38
Tabela 3. Adaptação de um FMEA funcional para a válvula URAL. ....	39
Tabela 4. Valores médios para desvio padrão, para cada material e cada categoria dimensional. ....	48
Tabela 5. Somatório das cotas e respectivas tolerâncias partindo do diagrama. ....	51
Tabela 6. Correção do diagrama da cadeia de cotas considerando o pior caso. ....	53
Tabela 7. Cadeia de cotas redimensionadas pelo método RSS. ....	56



## 1. Enquadramento e Objetivos

A OLI - Sistemas Sanitários, S.A., foi fundada em 1954, em Aveiro, como uma pequena empresa familiar. Ao longo do percurso, passou por áreas distintas de negócio até chegar, nos anos 80, à criação de uma unidade de produção de autoclismos. Em pouco mais de dez anos, o crescimento sustentado e exponencial deu um impulso à internacionalização em 1993, levando à integração no Grupo Fondital, sediado em Itália. Atualmente, 80 por cento da produção é direcionada para o mercado da exportação. A OLI tem presença assegurada em mais de 70 países de todo o mundo, inclusive a mais recente abertura de uma unidade fabril na Rússia que se dedica à produção de autoclismos. Em Portugal, a unidade fabril de Aveiro, é composta por 18 departamentos divididos em 4 setores (Direção de Apoio, Direção Comercial, Direção de Compras, Direção Industrial), apoiados pelo Departamento de Recursos Humanos e pelo Sistema de Gestão Integrada, tudo isto sob a liderança da Administração. Considerando que a produção e comercialização de autoclismos é um dos negócios-chave que está em grande expansão, torna-se imprescindível assegurar os mais elevados padrões de qualidade, rapidamente adaptáveis às exigências dos seus clientes e do mercado atual.

Desse modo, seria interessante económica e estrategicamente que a empresa adquirisse também valências internas que lhe permitissem estabelecer uma metodologia de avaliação de funcionamento de produto em serviço, e eventualmente prever as potenciais falhas, o que lhe permitiria, por sua vez, implementar ações corretivas direcionadas para aumentar a qualidade dos componentes e da assemblagem final do produto.

Este estágio, insere-se assim, no Departamento de Design e Desenvolvimento do produto da OLI, onde se pretende definir toda uma metodologia conducente à análise de modos de falha de todos os componentes de uma válvula de autoclismo que preconizará, por sua vez, a implementação das ações preventivas em várias fases de desenvolvimento do produto. A definição da metodologia recairá sobre a análise de um estudo de caso típico, uma válvula de descarga de um autoclismo atualmente em produção.

## 2. Fluxo do Projeto OLI

Antes descrever em detalhe o fluxo de projeto da OLI, é conveniente apresentar um organograma da organização, onde rapidamente se explique de uma forma global o posicionamento do Departamento de Design e Desenvolvimento dentro da mesma (ver Figura 1). A administração tem diretamente abaixo de si na hierarquia, o Departamento de Recursos Humanos, o departamento responsável pelo Sistema de Gestão Integrada, e quatro direções (Direção de Apoio, Direção Comercial, Direção de Compras e Direção Industrial), às quais pertencem os diretores de uma série de departamentos não visíveis nesta figura. Os departamentos referenciados com maior ênfase neste documento são o Departamento de Design e Desenvolvimento (onde se insere o estágio) e o Departamento da Qualidade Industrial pertencentes ao setor industrial, e o Departamento de Gestão da Inovação pertencente ao setor de apoio.

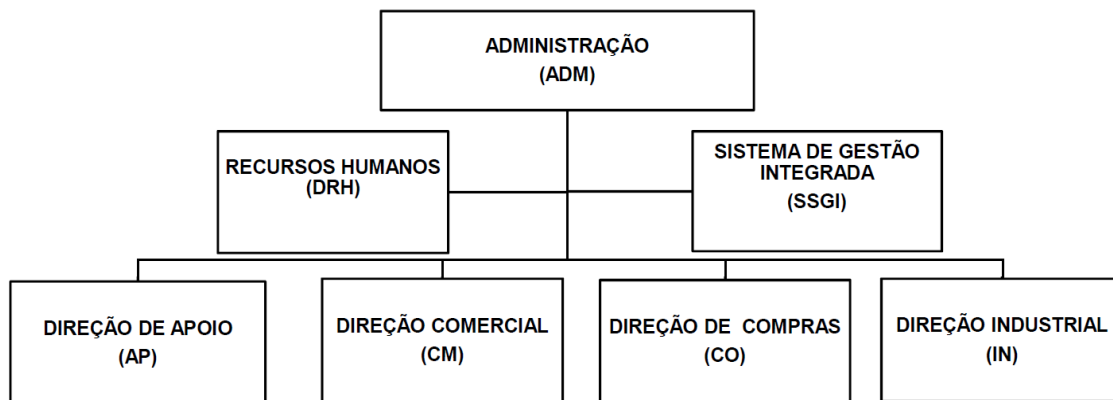


Figura 1. Parte do organograma da OLI – Sistemas Sanitários SA.

A OLI, estando inserida num mercado global e competitivo, realiza novos projetos de forma sistemática, que vão de encontro às exigências desse mercado. Antes de se iniciar o desenvolvimento de um novo produto, existe sempre uma proposta que poderá ser proveniente de várias fontes, tanto internas como externas, desde pedidos de clientes a ideias novas ou ideias resultantes de uma análise de mercado. Naturalmente, um projeto poderá ser um produto inovador, ou um produto sem qualquer inovação, mas com diferentes objetivos económicos, ou até alterações num produto já existente. Aqui, todas estas ideias são geridas pelo Departamento de Gestão da Inovação, que atua segundo uma política baseada em sistemas de gestão da investigação, desenvolvimento e inovação (inovação, desenvolvimento e inovação) de encontro à certificação pela norma NP 4457:2007. Além disso, esta organização assume uma postura estratégica perante o mercado, procurando oferecer sempre um padrão de qualidade elevado aos seus clientes.

### 2.1 Qualidade na OLI

De forma a aumentar a sua competitividade, a OLI procura garantir e aumentar a qualidade dos seus produtos. Juran definiu produto como a saída de um processo, uma definição diferente daquela utilizada pelos economistas que “definem produto como sendo um bem ou serviço” [1], definição largamente aceite na indústria e que abriu portas a uma

nova ideologia. Já a qualidade pode ser definida como o conjunto de características do produto que vão de encontro às necessidades do cliente, providenciando assim, satisfação relativamente a esse produto. Além disso, pode-se ainda dizer que qualidade consiste na ausência de defeitos [2]. Este pressuposto permite a uma organização enfatizar a importância da qualidade e do seu planeamento, controlo, e melhoria contínua, aproximando-se cada vez mais dos requisitos do cliente. Um cliente é qualquer entidade afeta à qualidade do produto, podendo essa ser interna ou externa. As deficiências são sempre fontes de insatisfação, mas nem sempre são opostas à satisfação. A satisfação está relacionada com as características do produto que cumprem os requisitos, e é a razão pela qual o cliente compra o produto. Insatisfação tem origem nos defeitos do produto, e é a razão pela qual o cliente reclama. Ainda assim, pode haver um produto que faz exatamente o que o fabricante afirma, mas gera insatisfação por haver um produto da competição no mercado que gera maior satisfação. Por este exemplo, demonstra-se a importância de focar todo o processo no caminho do aumento da satisfação [1]. Isto só é possível adotando um sistema de gestão da qualidade, o que no caso desta empresa é almejado pela implementação da norma ISO 9001:2008.

A ISO 9001:2008 é uma norma com um conjunto de critérios a adotar no sentido da qualidade. A OLI tem certificação desta norma, sendo ela atribuída por uma entidade certificadora. Esta norma inclui critérios considerados importantes para um sistema de gestão da qualidade, desde a administração até à documentação, com o intuito de levar a uma melhoria contínua dos processos. Deste modo os consumidores têm a garantia de que o produto que compram é fabricado por uma empresa com práticas mínimas aceitáveis.

Para uma organização funcionar eficientemente, é necessário que um grande número de atividades interligadas sejam bem definidas e geridas. Assim, esta norma promove uma abordagem baseada em processos, considerando que um processo poderá ser uma atividade ou conjunto de atividades que utiliza recursos e que é executada para transformar entradas (“inputs”) em saídas (“outputs”). Geralmente, a saída de um processo será a entrada do processo seguinte. Isto permite uma segmentação de todas as tarefas a realizar no decorrer de um projeto, para se definir exatamente quais os objetivos de cada uma, para que seja mais fácil analisar e melhorar a performance das mesmas, melhorando cada processo de forma contínua ao longo do tempo [3]. Olhando para a própria OLI como um conjunto de processos, a saída desse processo global serão os produtos finais que coloca no mercado. Já do ponto de vista do Departamento de Design e Desenvolvimento do Produto, as entradas serão aberturas de novos projetos de desenvolvimento, enquanto que as saídas serão projetos de produtos e toda a informação necessária à sua produção. De um modo geral, cada projeto desenvolvido de raiz deverá passar por quatro fases.

## 2.2 Fase Zero (Definição de Requisitos)

Após receção e análise de uma ideia por parte do Departamento de Gestão da Inovação, caso esta pareça interessante após uma primeira análise, formaliza-se uma proposta de projeto, e dá-se início à chamada fase zero do fluxo de projeto.

Aqui, o responsável deste departamento realiza uma análise da viabilidade do projeto, tendo por base uma análise da concorrência e do mercado, definindo custos e objetivos ao nível do volume de produção, bem como os requisitos do produto. Nem todos os projetos são considerados projetos de inovação, e iniciam-se mais adiante no fluxo de projeto, mas

no caso de estudo o projeto é considerado de inovação. Quando necessário e aplicável, realiza-se também um FMEA (do inglês “Failure Modes and Effect Analysis”) de projeto.

### 2.2.1 FMEA

O FMEA é uma técnica de análise passo a passo, que procura identificar todas as possíveis falhas num processo de design, produção ou montagem, ou num produto final [4]. Modos de falha (“Failure Modes”), significa todos os modos, ou formas, em como algo no processo poderá falhar, sendo que por falha se entende qualquer erro ou defeito, principalmente aqueles que afetam o cliente. Análise de efeitos (“Effect Analysis”), refere-se ao estudo das consequências dessas falhas, e quantificação do risco que cada uma representa. Esse risco é calculado por recurso ao coeficiente RPN (do inglês “Risk Priority Number”), que é definido pela equação 2.1 [4]:

$$RPN = S \times O \times D \quad (\text{equação 2.1})$$

Onde:

- a) S = grau de severidade. Calculado numa escala de 1 a 10, onde 1 é insignificante e 10 é catastrófico.
- b) O = frequência da ocorrência. Calculado de 1 a 10, onde 1 representa que será muito improvável a ocorrência de uma falha devido a esta causa, e 10 representa que será inevitável a ocorrência da mesma.
- c) D = dificuldade na deteção. Estima o quão apropriado é o meio de controlo utilizado para detetar a causa ou o seu modo de falha, depois da ocorrência mas antes de o produto alcançar o cliente. É calculado de 1 a 10, onde 1 significa que o meio de controlo é absolutamente capaz de detetar o problema e 10 significa que o controlo irá falhar certamente nessa deteção.

Além de quantificar o risco, esta ferramenta obriga a que se definam ações para eliminar as causas das falhas, o responsável por levar a cabo essas ações, e o registo dos resultados. Isto pode ser bastante útil para consulta dos registos no futuro, onde tenham ocorrido falhas semelhantes, ou para preveni-las durante a fase um do projeto.

De modo a entender a importância da realização do FMEA ou ferramentas semelhantes de análise preventiva, é necessário perceber o impacto que um defeito poderá ter. Um erro de desenho poderá ser bastante custoso para uma organização. Elaine Whitmore [5] refere que “Não importa o quão perfeito um processo de produção é, se o produto não tem as qualidades de segurança, efetividade, usabilidade, e fiabilidade para as quais foi desenhado, pois não irá realizar aquilo para que foi desenhado, da forma que deveria fazê-lo”. A única forma de garantir que o produto desenvolvido será aceitável é através de um planeamento cuidadoso, revisão e gestão dos processos de produção do mesmo. Assim que um projeto é aprovado e avança para além da fase de desenho, tem mais probabilidade de se vir a tornar um produto, mas o processo será mais difícil (e portanto, custoso) de reverter. O mesmo é verdade para cada fase de projeto ultrapassada, sendo que o custo de um eventual defeito do produto será máximo após este chegar ao mercado. O impacto monetário destas correções é relativo a cada processo e organização, mas como regra de polegar pode-se considerar que segue a regra conhecida como 1-10-100 [5]: se o custo de prevenir um defeito antes de este ocorrer é de uma unidade monetária, então o custo de corrigir esse defeito antes de ser introduzido no mercado será 10 unidades, e se

esse defeito for detetado apenas na chegada ao cliente, o custo de corrigi-lo será de 100 unidades.

Nesta fase do projeto (fase zero), poderão ser realizados FMEA de projeto, de requisitos, ou DFMEA (Design FMEA). Na OLI, os FMEA são realizados por uma equipa de colaboradores de vários departamentos, consoante a importância ou fase do projeto, e devem ser utilizados desde as fases iniciais do projeto.

### 2.3 Fase Um (Desenvolvimento e Pré-projeto)

Após aferida a viabilidade do projeto, caso este seja considerado viável e seja aprovada a sua continuação, dá-se início a um novo projeto de desenvolvimento com a fase número um (ver Figura 2). Aqui, é desenvolvido o produto propriamente dito, sendo que existem projetos de vários níveis, que ditam a forma como é seguido o procedimento descrito adiante. Contudo, de um modo geral, num projeto de um produto novo, começa-se pelo estabelecimento do plano de desenvolvimento com a definição das ações a realizar no decorrer do projeto, bem como a definição de prazos para a realização de cada tarefa, tudo isto através de uma reunião com a equipa de projeto definida, onde são apresentados e discutidos os requisitos do produto, mercado, prazos, custo objetivo e toda a informação relevante. Este planeamento deverá ser aprovado por todos.

Uma vez aprovado o planeamento, inicia-se o desenho das peças, após ou durante o qual se realizam protótipos nas peças relevantes. Na OLI, utilizam-se várias iterações durante este processo, realizando-se protótipos de peças cujo teste serve para melhoria do desenho, e uma vez concluídos todos os desenhos, produzindo-se um protótipo de produto final. Por protótipo entende-se um produto montado durante o decorrer do projeto de desenvolvimento, normalmente constituído por peças protótipo, normalmente na OLI obtidas através de impressão 3D, num material diferente daquele selecionado para o produto final, mas que serve como prova de *design* e funcionamento. Este é primeiro ensaiado pelo projetista, que o aprova e envia para o técnico de produto, para uma segunda validação por meio de um ensaio técnico.

Neste ponto, realiza-se um FMEA funcional (novamente, caso necessário e aplicável), após o qual se procede a um evento integrador inicial, onde se preparam os desenhos da peça para que possa ser feito um molde, respeitando as regras para a moldabilidade. Neste evento, são definidas, em conjunto com o fornecedor do molde, características como a localização do ponto de injeção e a linha de apartação, para que possa proceder a possíveis alterações e para dar na peça os respetivos ângulos de saída. São também realizados FMEA de montagem e/ou injeção, em reunião com uma equipa constituída por colaboradores de vários departamentos. Após passar por estas etapas, o fluxo de projeto deve passar por um evento integrador final, da mesma natureza que o anterior, onde se aprova o desenho final da peça para molde, que define o produto que será obtido à saída da linha de produção.

Aprovado o desenho final da peça, é pedido um orçamento do molde, que será encomendado assim que haja aprovação. No cenário de não haver aprovação, é necessário voltar ao desenho e definir o que se poderá alterar na peça para reduzir o custo do molde. O avanço do projeto é da responsabilidade de todos os elementos do grupo de trabalho convocados para a revisão da fase um, sendo que, a administração delega no responsável do departamento de desenvolvimento a tomada de decisão sobre este avanço para a fase dois. Dependendo do produto, poderá ser necessário o envio de um protótipo para o cliente para que este faça uma aprovação final.

Portanto, as saídas desta fase são: protótipos; relatórios de ensaios de aprovação de produtos; desenhos técnicos; listagens de requisitos; FMEA's.

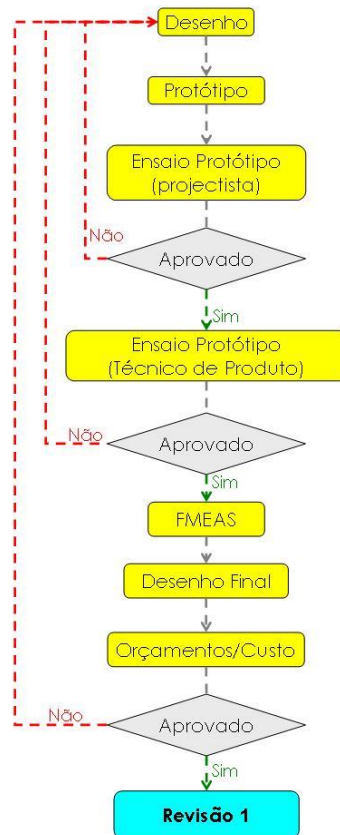


Figura 2. Fluxograma da Fase 1 do projeto na OLI. (Imagem cedida pela OLI)

## 2.4 Fase Dois (Execução do Molde e Preparação de Industrialização)

Esta fase (ver Figura 3) inicia-se com a entrega do molde por parte do fornecedor que é, em praticamente todos os casos, a Moldaveiro, empresa de moldes pertencente ao grupo da OLI. Em simultâneo procede-se à análise de amostras de componentes adquiridos (aqueles que não são fabricados pela OLI). Assim que recebido o molde, faz-se um ensaio do mesmo, para aferir se a peça é produzida conforme o desenho e se é necessário proceder a alterações. Esta aprovação é feita, para cada peça, por parte do Departamento de Design e Desenvolvimento, pelo projetista e pelo técnico de moldes e, após aprovação e obtenção de todas as peças injetadas, realiza-se um ensaio de produto final. Se este produto final não for aprovado por qualquer razão, será necessário proceder a alterações no desenho e no molde e voltar, portanto, ao início desta fase. Estando o produto final de acordo com o que foi definido e garantida a sua funcionalidade de acordo com os requisitos, prepara-se a industrialização do mesmo, e procede-se a uma revisão da fase dois. Mais uma vez, esta revisão é feita por toda a equipa envolvida no projeto, sendo que a decisão final de avanço é feita pelo gestor do projeto.



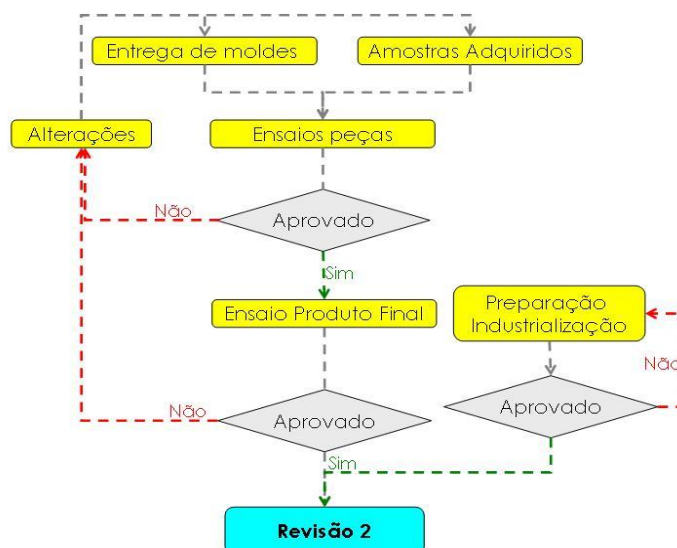


Figura 3. Fluxograma da Fase 2 do projeto na OLI. (Imagem cedida pela OLI)

As saídas desta fase são: produto composto por peças finais; relatórios de ensaios de aprovação de produto; documentos necessários ao controlo e fabricação do produto (planos de controlo, instruções de controlo, ficha de produto, etc...).

## 2.5 Fase Três (Testes de Vida e Validação)

A fase três (ver Figura 4) consiste na realização da pré-série e validação do projeto. Para tal, realiza-se uma primeira pré-série, ensaiando-se o produto obtido e assim validando (ou não) a industrialização definida para esta produção. Em simultâneo, o conjunto composto pelas primeiras peças obtidas é submetido a testes de vida de acordo com a norma de certificação do produto, sendo que o mesmo terá de suportar 200.000 ciclos de trabalho para obter certificação. Estes testes ocorrem em ambiente controlado, de acordo com as condições mais prováveis de funcionamento do produto, com água à temperatura ambiente e pressão atmosférica. Além disso, os volumes de descarga são semelhantes aos volumes padrão utilizados nos reservatórios dos sistemas sanitários (6 litros para uma descarga completa e 3 litros para uma descarga parcial). O acionamento é feito por atuadores automatizados que aplicam uma força semelhante à aplicada pelo acionamento inferido por um dedo humano e garantem uma elevada repetibilidade das condições de teste.

Uma vez aprovada a produção e obtida a certificação de nível máximo, procede-se a uma última revisão do projeto, que tem como tarefas obrigatórias garantir: aprovação do acordo de industrialização; realização e aprovação da primeira produção; aprovação interna do produto; aprovação do produto por parte do cliente; certificação do produto; aprovação do produto em testes de vida; aprovação de todos os moldes; avaliação do projeto; verificação do cumprimento dos requisitos; atualização final do planeamento. Portanto, no final da fase 3, o produto deverá estar validado e conforme os requisitos, sendo que deverão existir relatórios de ensaios de aprovação de produto, certificados emitidos pelas entidades certificadoras e, documentos necessários ao controlo e fabricação.

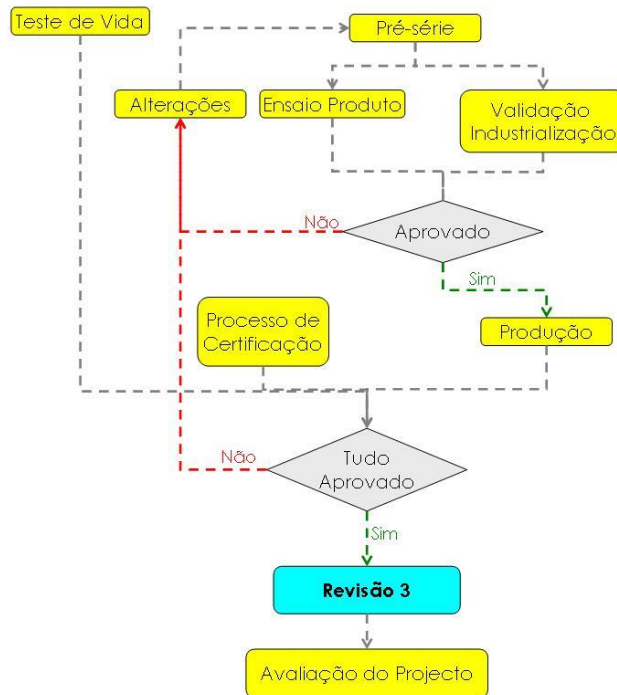


Figura 4. Fluxograma da Fase 2 do projeto na OLI. (Imagem cedida pela OLI)

Por fim, é importante referir que é fundamental o acompanhamento dos resultados, tendo em vista a idealização de novos processos produtivos, bem como novos meios de controlo de produção do produto desenvolvido, seguindo uma política de melhoria contínua. Por isso, é realizada uma análise do projeto semestralmente, durante 3 anos após a validação, onde se avaliam não conformidades e reclamações, a perceção das partes interessadas, o impacto do produto no mercado, bem como quaisquer outras informações identificadas ou recebidas pela OLI.

### 3. Sistemas Sanitários

A produção de sistemas sanitários e seus mecanismos é, como referido anteriormente, a principal atividade comercial da OLI.

Um sistema sanitário poderá ser: interior – caso seja instalado no interior da parede, ou seja, estando visualmente inacessível por detrás de uma parede falsa, ficando apenas exposta a sanita; exterior – caso mais comum, em que o sistema se encontra visível, normalmente instalado por cima da sanita. Os autoclismos interiores fazem uso de um tanque em plástico, enquanto que os exteriores podem ser produzidos utilizando um tanque plástico ou cerâmico. No presente estudo, irá ser abordado um sistema sanitário exterior de reservatório cerâmico.

Um sistema sanitário pode ser dividido em quatro mecanismos ou sub-sistemas (Ver Figura 5):

- Armazenamento – a água é armazenada num reservatório, que não pode em caso algum conter fugas, e que simultaneamente, deve albergar o sistema de enchimento e o sistema de descarga, bem como a totalidade ou parte do sistema de acionamento.
- Acionamento – sistema que aciona o sistema de descarga, normalmente através de um botão ou sensor (no caso em estudo, um botão), recorrendo a vários tipos de conceito para a transmissão do movimento, o que resulta em acionamentos do tipo mecânico, pneumático, eletrónico, ou combinações destes.
- Enchimento – sistema composto por uma válvula (comumente denominada torneira) responsável não só pelo enchimento do reservatório de acordo com as normas (relativas ao caudal máximo e mínimo, intensidade sonora, etc...), mas também por suportar a pressão da água da rede e vedar o enchimento do reservatório no nível previsto.
- Descarga – sistema constituído por uma válvula de descarga, responsável pelo vazamento do tanque (total ou parcial, de acordo com as exigências), respeitando um determinado caudal. Esta válvula não pode permitir fugas e é o componente que em caso de falha repentina na vedação do enchimento com potencial de inundação, deve assegurar o escape do caudal indesejado, garantindo que a água não irá transbordar e inundar o local onde se encontra instalado o autoclismo.



Figura 5. Representação de uma montagem completa de um sistema de autoclismo.  
(Imagem cedida pela OLI)

De entre estes mecanismos, aquele estudado será o mecanismo de descarga e, o objeto de estudo será, portanto, uma válvula de descarga atualmente em produção. Este mecanismo está a ser produzido para certos mercados onde cumpre os requisitos do mercado e do cliente, embora não seja certificada de acordo com a norma. Por esse motivo, existe um trabalho continuado com o intuito de ir de encontro a essa norma, para que se possa certificar o produto no futuro, se isso se revelar estratégico para a OLI. Como esta empresa exporta para diversos mercados, é imprescindível que o produto tenha várias versões ou apresente várias especificações de acordo com cada cliente, pois estes apresentam diferentes requisitos, sendo que por vezes um desses requisitos é a certificação do mesmo. Esta é uma das consequências da personalização e da polivalência da empresa que, por outro lado, representa uma das suas mais-valias competitivas no mercado global.

Finalmente, constata-se que no objeto em estudo (à semelhança daquilo que acontece na restante gama de produtos da empresa), os componentes são, praticamente na sua totalidade, desenvolvidos e produzidos na OLI, desde a ideia ao produto final, estando a qualidade desses diretamente afeta à especificação atribuída pelo designer e ao processo produtivo da empresa e respetivo controlo de qualidade. Esta válvula tem o nome comercial de URAL (Figura 6), nome pelo qual será identificada daqui em diante.



Figura 6. Assemblagem final da válvula de descarga URAL. (Imagem cedida pela OLI)

### 3.1 Processo Produtivo

A principal atividade da OLI (produção de autoclismos e seus mecanismos) está, na sua raiz, associada à água. Por esse motivo, para a produção dos seus produtos é necessário utilizar materiais resistentes à corrosão, que permitam estanquicidade e impermeabilidade em certos casos, grande reprodutibilidade e precisão dimensional, bem como versatilidade em termos de geometria e dimensões, e que, por uma questão económica, sejam baratos e permitam uma elevada cadência de produção. Assim sendo, os polímeros são a principal matéria-prima na OLI, pois permitem dar resposta a todas estas necessidades. O material a transformar é, normalmente, adquirido no estado sólido, na forma de grãos (granulado), processado por moldação por injeção, processo que será descrito adiante.

#### 3.1.1 Moldação por Injeção

Os produtos constituídos por materiais poliméricos podem ser produzidos de várias formas, das quais se destacam as duas principais [6]:

1. Extrusão – produtos de secção transversal ou perfil constante com comprimento ilimitado, tais como tubos, perfis ou chapas.
2. Moldação – produtos individualizados, com formas tridimensionais mais ou menos complexas.

É necessário observar que existem, diversas formas de processar plásticos por moldação, dependendo do tipo de produto que se pretende obter, e do custo associado à sua operação. No caso de produtos ocos, como garrafas, as tecnologias para a sua obtenção são, entre outras: a moldação-sopro baseada na extrusão, a moldação-sopro baseada na injeção e a moldação rotacional. Já no caso dos produtos com geometrias mais complexas (como os

que são produzidos na OLI), existem várias técnicas de moldação, sendo as mais frequentes: moldação por injeção, a termoformação e a moldação por compressão. Todas estas técnicas fazem uso de moldes que se baseiam no uso de uma bucha e de uma cavidade, sendo esses designados de Moldes 3D. De salientar que todas estas técnicas podem ser utilizadas com materiais termoplásticos que são os polímeros mais frequentemente usados na indústria, e também na OLI.

De entre os processos de moldação, o mais amplamente divulgado atualmente no processamento de polímeros é o da moldação por injeção, com enorme importância nos grandes mercados consumidores, como embalagem, construção civil, automóvel e material elétrico e eletrónico. Esta massificação deve-se ao facto de esta técnica responder a requisitos semelhantes àqueles que são exigidos para os produtos da empresa, referidos anteriormente, relativamente à competitividade destes (por exemplo: grande reprodutibilidade e precisão dimensional, elevada cadência de produção). Este processo foi patenteado em 1872, tendo sofrido uma grande evolução ao longo do século XX. Uma definição possível para um molde utilizado neste tipo de processo será um conjunto de sistemas funcionais que permitem que um espaço em que a peça vai ser materializada, definido pela cavidade e pela bucha - a impressão -, seja preenchido com o plástico fundido em condições controladas, pelos outros sistemas que garantem a qualidade dimensional e estrutural das peças produzidas [6].

A moldação por injeção, consiste portanto, em forçar um material previamente aquecido (fundido) a entrar, sob pressão, num molde onde é arrefecido até uma temperatura à qual ganhe rigidez suficiente para que possa ser extraído mantendo a forma da impressão, isto é, da peça que se quer produzir [6]. De uma forma simplista, se os termoplásticos forem aquecidos além de um determinado ponto, sofrem uma alteração de estado físico: fundem e passam ao estado líquido. Esse ponto denomina-se por ponto de fusão, ponto abaixo do qual, ao serem arrefecidos, solidificam novamente. Por este motivo, a máquina de injeção, integra uma unidade de plasticização operada a quente, enquanto que o molde se mantém, por recurso a um sistema de controlo de temperatura, próximo da temperatura a que se pretende extrair a peça. Deste modo, o permutador de calor maquinado no molde por intermédio de linhas de água, atua como sistema de controlo de temperatura durante o ciclo de injeção. Durante o enchimento minimiza-se a discrepância térmica entre o fundido e o aço, facilitando a progressão da frente de enchimento e, por inerência, o correto preenchimento da cavidade moldante, permitindo no entanto, as trocas de calor por convecção essenciais para garantir o arrefecimento da peça até que a mesma atinja a temperatura de extração e possa ser removida sem dano. Uma ilustração esquemática deste processo encontra-se na Figura 7.

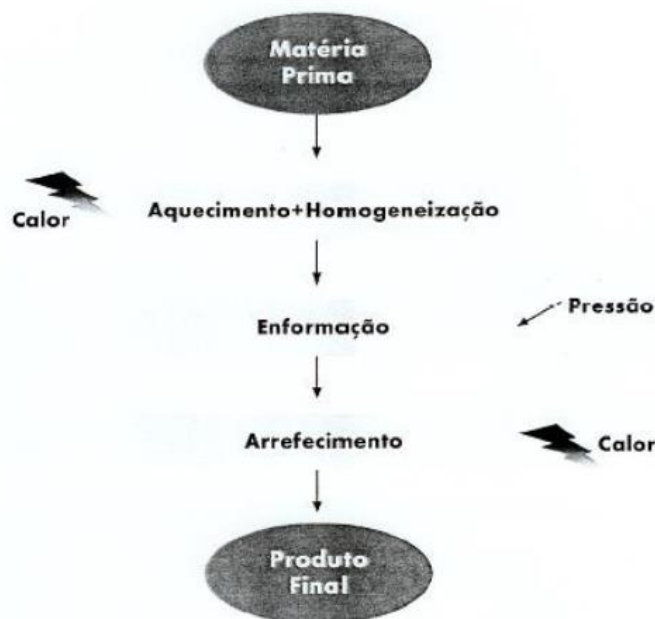


Figura 7. Ilustração esquemática do processo de moldação por injeção [6].

### 3.1.2 Contração

No presente caso de estudo, o conjunto é constituído por 22 componentes, sendo que 19 deles são obtidos através do processo de moldação por injeção, cujo ciclo produtivo pode ser dividido nas seguintes etapas [6]:

- Fecho e trancamento;
- Injeção;
- Pressurização;
- Arrefecimento;
- Abertura e extração;
- Tempo de pausa (tempo morto);

No presente estudo, as etapas mais relevantes a levar em linha de conta serão, pelas razões explicadas adiante, a injeção, a pressurização e o arrefecimento. Esta última etapa inicia-se a partir do momento em que o material injetado estabelece contacto com as paredes do molde, embora o tempo de arrefecimento represente apenas o período que se inicia após a fase de pressurização, correspondendo normalmente à maior etapa do ciclo [6]. Este processo é feito por transferência de calor do material injetado para as superfícies moldantes, e é controlado pelo sistema de controlo de temperatura, que consiste num conjunto de canais maquinados no molde, a uma distância adequada da cavidade, que são percorridos por um fluído refrigerante (geralmente água) [7].

Como referido anteriormente, na moldação por injeção de materiais poliméricos, o material é forçado a entrar, sob pressão, dentro do molde. Idealmente, a pressão de injeção seria muito reduzida e, durante a mesma, o molde estaria à temperatura do material, fazendo-se um arrefecimento muito lento do conjunto do molde e da impressão no seu interior. Deste modo, as tensões internas do material iriam ser reduzidas e a contração da impressão seria uniforme (dando origem a peças praticamente perfeitas), algo que, de um ponto de vista económico não é concebível, pois a cadência de produção seria demasiado baixa. Assim sendo, todas as etapas do processo devem ser otimizadas e devem estar em

concordância entre elas, na melhor relação de compromisso para alcançar o objetivo que será sempre, na OLI e na generalidade das empresas, alcançar a maior cadência de produção possível, sem descurar os padrões de qualidade num mercado cada vez mais exigente.

A qualidade da peça final pode ser afetada, por uma grande infinidade de fatores. Ao nível do projeto, a própria especificação da peça (espessuras, tamanho, forma, etc...), a dimensão e o comprimento dos canais de alimentação que transportam o material até ao ponto de injeção, e a forma deste, são fontes de variação [8]. Ao nível do processo, por um lado, as dimensões do aço constituinte do molde sofrem variações provenientes da pressão no interior da cavidade aquando em trabalho, bem como fenómenos de expansão e contração térmicas, e por outro, o efeito do tempo e do número de ciclos têm também que ser levados em linha de conta. Além disso, pressão de injeção, pressão de manutenção, temperatura do molde, temperatura do fundido e velocidade de injeção também são fatores de relevo associados à produção. É necessário ainda referir, que todos os parâmetros referidos anteriormente dependem fortemente da natureza do material. Portanto, um controlo eficiente de todos estes parâmetros representa um papel essencial na relação custo-qualidade de peças moldadas por injeção, influenciado largamente o tempo de arrefecimento (e consequentemente, o tempo de ciclo), bem como propriedades da peça final como o brilho, a transparência, a contração e o empeno [6].

A contração ocorre dentro do molde durante o processamento, e fora do molde após a extração, altura a partir da qual ocorre também o empeno, sendo esses os fenómenos pelos quais, no processamento de polímeros através de moldação por injeção, é impossível evitar desvios dimensionais da impressão relativamente às dimensões da cavidade do molde. A contração, sendo um fenómeno volumétrico (ocorre em todas as direções), pode ser definida como a diferença entre uma cota linear arbitrária no molde à temperatura ambiente, e a respetiva cota na peça final, à temperatura ambiente, até 48h após ejeção [8]. Outras fontes apontam um período de 16h como o ideal para medir a contração volumétrica da peça [7]. O empeno, por sua vez, representa a distorção da forma da peça final, sendo causado por uma contração diferencial. Isto é, se numa direção a contração for superior à de outra direção, isso irá provocar empeno [8]. É ainda comum a utilização do termo de contração pós-processamento, que considera quaisquer variações dimensionais após o período inicial de 48h, normalmente devido a relaxação de tensões internas do material.

Portanto, tendo em conta o que foi debatido, do ponto de vista do projeto e do desenho de peças plásticas, é necessário utilizar metodologias que permitam precaver a contração provocada por todos os fatores anteriormente referidos. Na OLI, a norma de apoio ao desenho em vigor, que correlaciona as tolerâncias da peça com a contração, é a DIN 16901 *“Plastics Mouldings; tolerances and acceptance conditions for linear dimensions”*.

### 3.1.3 Polímeros Termoplásticos

Um plástico é, numa possível definição, um material que contém, como ingrediente principal, um polímero de elevado peso específico, sólido e rígido no seu estado final, que pode ser moldado através de um processo de escoamento durante o seu processo de fabrico [9]. Os dois grupos básicos de materiais plásticos são, com base no tipo de polímeros que os compõem, termoplásticos ou termoendurecíveis [10], sendo estes obtidos pela indústria petroquímica, que tem como base o crude ou o gás natural.

De uma forma simplista, os polímeros são moléculas bastante grandes (macromoléculas) que englobam parcelas mais reduzidas, ou monómeros. Os arranjos destas unidades, os vários tipos de cadeias que podem ser sintetizadas e as formas que estas cadeias podem assumir, resultam nesta classe de materiais que podem assumir as mais



variadas e interessantes propriedades [11]. Os termoplásticos consistem em moléculas longas, as quais podem ter cadeias laterais ou grupos que não estejam ligados a outras moléculas [10]. Assim, estes podem ser fundidos e solidificados através de aquecimento e arrefecimento, pelo que qualquer desperdício proveniente do processo de produção pode ser reutilizado, uma vez que não ocorre uma reação química. Normalmente são fornecidos em forma de grãos, aos quais é possível juntar aditivos (como por exemplo, pigmento corante, como é o caso de alguns produtos na OLI). As suas limitações prendem-se com as temperaturas de serviço altas, que levam a perda de propriedades mecânicas e eventual fundição, o que não representa um problema para os produtos produzidos na empresa, pois as temperaturas de serviço dos produtos são temperaturas na ordem da temperatura ambiente.

Os plásticos termoendurecíveis, por sua vez reagem quimicamente durante o seu processamento, formando ligações reticuladas, que não podem ser quebradas ou reprocessadas, pelo que o desperdício proveniente do processo produtivo deve ser rejeitado ou utilizado noutros materiais como aditivo para enchimento [10]. Este tipo de material não é utilizado no processo produtivo da OLI, pelo que não será abordado em maior profundidade.

Os termoplásticos são imprescindíveis aos padrões de vida atuais, sofrendo um consumo anual de 120 milhões de toneladas, valor cuja metade corresponde a materiais transformados por moldação por injeção [6]. Como referido anteriormente, o material a transformar é adquirido no estado sólido, na forma de grãos (granulado), sendo processado através de moldação por injeção, processo onde esta matéria-prima é aquecida, enformada e arrefecida. Esta classe de material, como já referido, apresenta enormes vantagens competitivas ao nível dos processos produtivos necessários à sua transformação, sendo ainda reciclável - característica que a empresa valoriza, uma vez que tem uma unidade de reciclagem interna para reduzir o desperdício. Além das anteriormente referidas, estes materiais apresentam um conjunto de propriedades interessantes, que os tornam ideais para este tipo de produtos, como baixa densidade (comparativamente à dos metais), elevada resistência mecânica, rigidez razoável, elevada resistência ao impacto, elevada resistência química e ambiental, podendo ainda apresentar acabamentos importantes em produtos com finalidade visual, tais como transparência e brilho [6]. A densidade reduzida combinada com as boas propriedades mecânicas permite o fabrico de componentes com um gasto mínimo de material para garantir uma determinada função estrutural, material que por sua vez apresenta um peso reduzido, o que se traduz em custos também esses reduzidos.

Estas propriedades são oferecidas por uma elevada gama de termoplásticos disponíveis comercialmente, que podem ser categorizados em função da sua estrutura como [6]:

- Termoplásticos amorfos – Estes materiais apresentam grande estabilidade dimensional, sendo relativamente pouco suscetíveis a fenómenos viscoelásticos como a fluência ou a relaxação de tensões, por apresentarem uma gama de temperaturas de serviço inferior à  $T_g$  (temperatura de transição vítrea). Ainda é importante referir que estes não apresentam uma organização estruturada das cadeias moleculares, pelo que a sua consistência depende principalmente do grau de interação mecânica entre as cadeias moleculares, que se entrelaçam umas nas outras aleatoriamente;

- Termoplásticos semicristalinos – Estes materiais combinam uma fase amorfa com zonas de estrutura molecular espacialmente muito ordenada (cristalites), pelo que são mais tenazes (devido à capacidade dissipativa da fase amorfa) e apresentam maior resistência química e ambiental (devido às forças de coesão intramoleculares associadas às estruturas cristalinas). Englobam assim uma combinação entre um esqueleto estrutural rígido (fase cristalina), com uma matriz amorfa de elevada deformabilidade (fase amorfa), apresentando, portanto, um interessante compromisso de propriedades, muito dependente da gama de temperaturas de serviço. Essa gama de temperaturas deverá estar compreendida entre a  $T_g$  e a  $T_f$  (temperatura de fusão);
- Termoplásticos de cristal líquido e elastómeros termoplásticos – Os termoplásticos de cristal líquido apresentam uma estrutura mais complexa, enquanto que os elastómeros termoplásticos combinam comportamento elastomérico (grande capacidade de deformação sob determinada carga, com recuperação imediata após a remoção da mesma) com características termoplásticas. Ambas as categorias não apresentam relevância no presente estudo de caso, pelo que não serão descritas em maior detalhe.
- Já em termos de importância comercial, os termoplásticos podem ser classificados de acordo com a seguinte distribuição [6]:
- Termoplásticos de grande consumo – Normalmente são muito fáceis de transformar e correspondem a cerca de 90% do consumo de termoplásticos. O seu preço ronda os 1000€ por tonelada.
- Termoplásticos de engenharia – Incluem um conjunto alargado de materiais com bom desempenho mecânico, térmico e excelente aspeto superficial, correspondendo a 10% do consumo. O seu preço encontra-se na ordem dos 2000 e 7500€ por tonelada.
- Termoplásticos de elevado desempenho – Materiais com propriedades mecânicas e térmicas excelentes, tendo um consumo inferior a 0,5% do total. O seu preço encontra-se na gama entre os 10.000€ e os 100.000€ por tonelada.
- Termoplásticos especiais – Utilizados em aplicações muito específicas.

Os termoplásticos usualmente adquiridos pela OLI como matéria-prima, são: PS, PP, POM e ABS. Estes podem ser classificados de acordo com a sua estrutura e importância comercial de acordo com o seu posicionamento na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos termoplásticos utilizados na OLI, de acordo com estrutura e importância comercial.

		Estrutura	
		Amorfos	Semicristalinos
Importância Comercial	Elevado desempenho	(-)	(-)
	Engenharia	ABS	POM
	Grande consumo	PS	PP

Numa primeira análise, uma seleção tão reduzida de termoplásticos para uma diversidade tão vasta de produtos pode parecer uma abordagem contraditória. A verdade é

que, para aplicações específicas são utilizados outros tipos de materiais, se tal for necessário. Ainda assim, quando é aberto um projeto, o projetista tem um objetivo de custo máximo para o produto que vai desenhar, custo esse muito dependente do preço do material, que será reduzido se for comprado em grandes quantidades. Daí a aposta em basear o projeto nos materiais comprados em grande volume já implementados na empresa.

De outro ponto de vista, ao olhar para o processo produtivo da empresa, rapidamente se percebe que o motivo reside também numa questão de logística na industrialização dos produtos. Na OLI, ao ser rececionado, o granulado (matéria-prima) é armazenado em silos, onde posteriormente é aspirado e enviado para abastecimento das máquinas através de tubagens. Ora, rapidamente se percebe que, ao nível da gestão da implantação fabril, quanto menor o número de matérias-primas utilizadas, menor será o número de silos e o número de tubagens. Além disso, com a seleção de apenas estes quatro tipos de matéria-prima, cobre-se uma gama enorme de características, pois tem-se à disposição termoplásticos do tipo amorfo de grande consumo, amorfo de engenharia, semicristalino de grande consumo ou semicristalino de engenharia. Isto permite que seja possível dar resposta à quase totalidade das necessidades impostas pelos requisitos dos produtos aqui fabricados. Assim, conseguindo dar resposta à generalidade das necessidades com esta seleção, podem-se fabricar todos os produtos por recurso ao mesmo tipo de termoplásticos, o que, mais uma vez do ponto de vista fabril, só apresenta vantagens – desta vez não só devido ao número reduzido de silos e instalações de transporte, mas também ao nível do *know-how* em termos de injeção, uma vez que se ficam a conhecer melhor os parâmetros de injeção e comportamento dos materiais, reduzindo claramente o número de variáveis que se teriam de conhecer ou controlar, caso fossem utilizados mais materiais. Há ainda a vantagem de ser mais fácil efetuar uma mudança de molde na máquina, para alterar o produto a ser produzido, por forma a evitar acumulação de *stock* e assim gerir melhor a produção, para além de se poderem utilizar moldes família (tipo de moldes onde se produz mais do que uma peça) para produzir peças dos mesmos conjuntos, o que seria dificultado caso se utilizasse uma diversidade maior de termoplásticos, olhando para cada componente de forma isolada.

Neste momento a unidade fabril na Rússia (onde a válvula URAL está a ser produzida) funciona em linha contínua, não havendo trocas de molde na máquina e não havendo ainda um sistema tão complexo de gestão de *stock* e de abastecimento das máquinas, mas parte-se do princípio que o objetivo será sempre implementar o fluxo de produção existente na fábrica de Portugal, que lhe serve como exemplo a seguir.

Em conclusão, resta referir que os termoplásticos utilizados na produção do produto em estudo são apenas ABS, PP e POM.

#### 1.3.2.1 PP

É um dos termoplásticos mais versáteis, combinando rigidez e resistência estrutural com um baixo grau de compactação. Por este motivo, o PP apresenta um bom comportamento mecânico aliado a uma baixa densidade, além de ser relativamente fácil de processar, absorver pouca água e resistir a soluções aquosas salgadas ou ácidas [10]. Do ponto de vista mecânico, é um material com excelente resistência à fadiga.

#### 1.3.2.2 POM

O polióxido de metileno, ou, como é conhecido industrialmente, poliacetal, apresenta uma gama de propriedades que favorece a sua aplicação em peças técnicas,

componentes para automóveis, mecanismos de segurança, parafusos e acessórios para tubagens. As principais características deste material relativamente a outros polímeros são a elevada tenacidade e o bom comportamento ao desgaste e à fadiga. O POM é também caracterizado por sofrer processos de cristalização secundária pós-moldação (que podem ter implicações dimensionais).

#### 1.3.2.3 ABS

O acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) é composto, como o nome indica, por acrilonitrilo, butadieno e estireno em proporções variadas, sendo que a variação das percentagens relativas destes constituintes, confere ao ABS diferentes combinações de dureza mecânica, alargada gama de temperaturas de serviço, boa estabilidade dimensional, resistência química, propriedades elétricas isolantes e facilidade de fabrico [10]. Em todo o caso, de um modo geral, o ABS apresenta boa resistência ao impacto e um excelente brilho, bem como rigidez e boa processabilidade.

## 4. Toleranciamento

### 4.1 Enquadramento

Por definição, o toleranciamento almeja especificar os limites permissíveis para os desvios geométricos das peças, que resultam inevitavelmente de imprecisões do processo [12]. O projetista – como se pode depreender pela leitura do capítulo 2 – está, na OLI, envolvido em grande parte dos processos desde a ideia até à obtenção do produto final, nomeadamente no *design* e definição de todas as informações necessárias à respetiva produção e controlo. Por esta razão, ele ocupa uma posição afeta a diversos departamentos, pelo que necessita de comunicar com esses de maneira clara e precisa. Assim, idealmente, após modelar um componente em *software* de CAD (do inglês “*Computer Aided Design*”), o projetista procederá à criação de um desenho de engenharia, o documento que descreve a peça de forma completa e precisa, através de informação visual composta por imagens, palavras, números e símbolos. Esta informação define as características da peça desde a sua geometria (dimensões e forma), às tolerâncias admissíveis para garantir o bom funcionamento, e ao material que a constitui, bem como o acabamento superficial e outras especificações que sejam relevantes [13]. Este documento define a peça na sua totalidade e é a ferramenta de comunicação mais poderosa do desenhador.

No caso em estudo, os desenhos utilizados não fazem uso de toleranciamento geométrico e, portanto, todo ele é apenas dimensional, pressupondo-se a aplicação de alguns princípios que na realidade não são especificados, embora sejam garantidos pelo envolvimento do projetista no fluxo do projeto, obtendo este a peça de acordo com aquilo que deseja, já que em pontos críticos do fluxo é necessária a sua aprovação. Do ponto de vista da OLI isto faz sentido, pois elaborar um desenho de engenharia completo e de acordo com normas que prevejam a definição da forma requer, para além de desenhadores altamente qualificados, um investimento ao nível dos meios metrológicos para controlo e mão-de-obra para os operar, e pode consumir mais tempo, sendo necessário efetuar uma análise que compare os custos face aos ganhos em investir na qualidade do *design*. De qualquer modo, ressalva-se então que, há dois princípios implícitos nos desenhos de engenharia.

### 4.2 Princípio da Envolvente

Este princípio remete para a existência de uma envolvente virtual em torno do material constituinte da peça. É uma contra cópia perfeita semelhante à geometria que se pretende obter, com a menor dimensão possível de contrair em torno da geometria que se pretende obter, ou a maior dimensão possível de expandir por dentro dela, de tal forma que essa cópia perfeita coincida com os pontos mais altos da superfície [14]. Assim, deixa-se de olhar para a peça como um componente isolado e parte-se do princípio que mesma será desenhada para fazer parte de um conjunto. Isto permite assumir que quando aplica uma cota a uma peça, o projetista pretende que toda a superfície da geometria se encontre dentro de determinada gama de dimensões, uma vez que são os pontos mais altos que vão estar em contacto quando montados. A envolvente poderá ainda ser [14]:

- **Não relacionada:** uma envolvente não relacionada é uma contra cópia perfeita semelhante à geometria que se pretende obter, expandida por dentro do interior da mesma ou contraída em torno dela, e não restringida em relação a nenhuma referência.

- **Relacionada:** uma envolvente relacionada é uma contra cópia perfeita semelhante à geometria que se pretende obter, expandida por dentro do interior da mesma ou contraída em torno dela, estando restringida em orientação ou localização ou ambas em relação a determinadas referências.

Na Figura 8, no para o caso do furo, as linhas interiores são aquelas que representam a superfície de montagem, embora em determinados pontos o diâmetro do furo possa assumir valores acima desse (linhas exteriores, segundo a condição de mínimo material). Já no caso do pino, apesar de haver pontos interiores onde o diâmetro pode assumir valores mínimos, existem pontos máximos que dão a verdadeira dimensão da superfície de encaixe. Em indústria de elevada precisão, esta evolvente real é definida, e um gabinete de metrologia é responsável por medir o diâmetro um determinado número de vezes em pontos diferentes, obtendo-se uma nuvem de pontos que dá origem à mesma. [14]

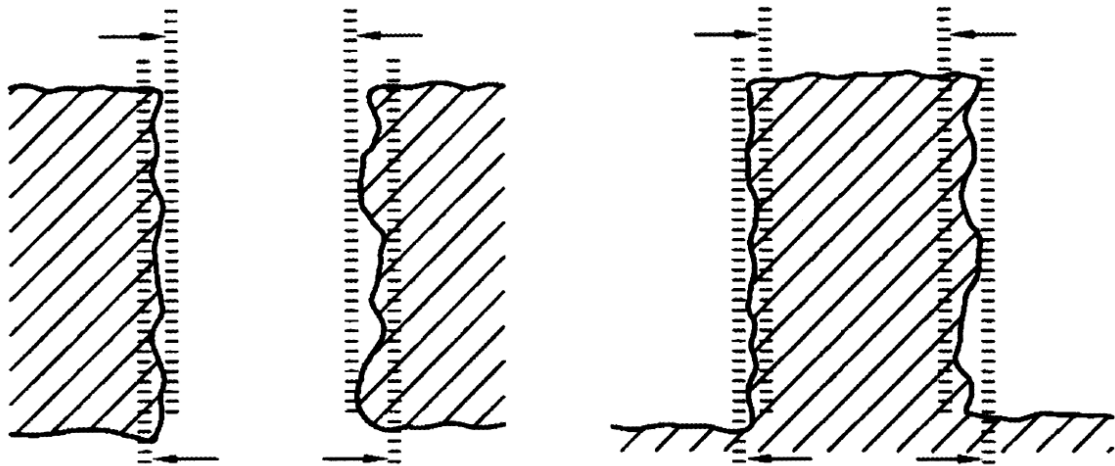


Figura 8. Conceito de envolvente, para um furo (à esquerda) e para um pino (à direita) [14].

### 4.3 Princípio da Independência

Com o uso de Toleranciamento e Dimensionamento Geométricos, controlam-se quatro componentes da geometria com objetivo de preservar a funcionalidade, sendo estes: tamanho, forma, orientação e localização. De acordo com a norma ISO 8015:2011, “toda a especificação geométrica de uma característica de uma peça ou relação entre características, deve ser considerada independente de outras especificações, exceto quando é estabelecido na norma indicada no desenho, ou por indicação especial sobre uma determinada especificação.” [15] Assim, a forma e o tamanho tornam-se independentes um do outro, e portanto, o toleranciamento do comprimento não é o toleranciamento da forma. Por isso, é necessário efetuar indicações adicionais, para que as cotas especificadas sejam tomadas como uma envolvente da forma, como aquela descrita pelo princípio da envolvente. Não estando o princípio da independência ou o princípio da envolvente especificados nos desenhos, assume-se neste caso de estudo que o toleranciamento do

tamanho é também o toleranciamento da geometria, por tal ser garantido pelo projetista que acompanhada todo o processo até à obtenção do produto final, aprovando a peça apenas quando as suas características funcionais não são afetadas.

#### 4.4 Toleranciamento na OLI

Na OLI, o toleranciamento é feito com base na norma DIN 16901, como referido anteriormente. Esta norma prevê uma correlação entre o valor de determinada cota e a sua variação devida ao processo produtivo, devida a todas as variáveis referidas na Secção 3.1 onde se aborda o processo produtivo da organização. Assim, a norma determina tolerâncias a atribuir em função do comprimento, e para materiais diferentes, pois cada material apresenta um valor característico de contração como foi visto anteriormente. Em anexo (Anexo A) apresentam-se as tabelas de tolerâncias da norma para os 3 materiais que serão objeto de estudo neste relatório: ABS, PP e POM.

Tradicionalmente, na OLI, o projetista atribui as tolerâncias dimensionais em componentes, antes de serem enviadas para outros departamentos. As tolerâncias utilizadas baseiam-se em experiência passada, funcionalidade das peças, previsão da dificuldade em produzir certas geometrias, e nos ensaios efetuados utilizando protótipos. Para além disso, o projetista realiza uma ficha de inspeção, onde coloca apenas as cotas funcionais mais importantes a serem controladas pelo Departamento da Qualidade Industrial, pelo que necessita de ter conhecimento de metrologia e dos meios disponíveis, estando o toleranciamento muitas vezes limitado por estes. Este envolvimento de colaboradores de outros departamentos no desenho é normalmente designado por Engenharia Concorrencial.

Portanto, nesta norma são consideradas de uma forma global, todas as variáveis supra referidas, e ainda variações provenientes da posição das partes móveis do molde, que determinam duas categorias de cotas: as que dependem apenas da gravação que é feita no molde, e as que dependem também dos movimentos do mesmo. Por último, determina-se que o controlo e a aceitação das peças deverão ser feitos, pelo menos, 16 horas após a sua produção, e antes de qualquer tratamento posterior à moldação (como por exemplo, banhos de cromagem) [16].

#### 4.5 Análise de Tolerâncias

Ainda que o projetista esteja envolvido de perto em todo o fluxo de projeto na OLI, quando se aumenta a complexidade de um conjunto, ele nunca pode estar inteiramente confiante nas especificações atribuídas pois, em momento algum, é realizada uma análise de funcionalidade considerando o efeito da propagação de todas as tolerâncias no conjunto, focando-se ele em cada peça individualmente, ou para cada par de peças. Isto faz com que fique obrigado a deixar esta propagação ao acaso, e a atuar em desconhecimento dos seus efeitos, baseando as suas decisões em estimativas ou análises tentativa-erro sobre peças protótipo. Isto consome tempo e recursos, e leva a que quando o conjunto funciona não haja informação tangível acerca do sucesso, e a que se tenha de repetir sempre o mesmo

processo. Além disso, numa organização como a OLI que apresenta componentes comuns a vários produtos, é de extrema importância garantir a permutabilidade dessas peças.

Nesse contexto, a análise de tolerâncias é o processo de, a partir de tolerâncias especificadas, analisar a combinação destas dentro do sistema mecânico que compõem e prever a sua influência no funcionamento do mesmo, tendo por base a especificação de um requisito funcional [12]. Existem dois principais tipos de abordagem a ter em conta:

- Aquela que utiliza o modelo do pior caso (ou modelo WC – do inglês “*Worst Case*”), que considera os limites máximo e mínimo de cada gama de tolerâncias especificada para uma cota;

- Aquelas que utilizam modelos estatísticos, que levam em linha de conta a variação estatística do processo relativamente às tolerâncias e ao seu valor nominal.

Cada uma delas oferece um compromisso diferente entre o toleranciamento da peça e a “qualidade” do conjunto final, sendo essa a razão pela qual existem várias abordagens, pois esse compromisso será determinante para o custo da produção do produto [12]. Como foi dito, o método WC considera os limites máximos admissíveis pela gama de tolerâncias, limites sobre os quais é pouco provável o processo estabilizar. Por esse motivo, iniciou-se a utilização de métodos de toleranciamento estatístico, para produções em massa através de processos que possam ser controlados estatisticamente, através da inspeção a 100% das peças ou a um conjunto de amostras utilizadas para caracterizar toda a população por inferência estatística. Assim, o toleranciamento estatístico tem por objetivo avaliar o nível de qualidade numa fase inicial do projeto. O método consiste em calcular a probabilidade da ocorrência de defeitos, representando a probabilidade de determinado requisito funcional não funcionar quando produzido em massa.

Até à data, muito trabalho foi desenvolvido sobre o toleranciamento estatístico. Os métodos convencionais, dos quais se destaca o método RSS (do inglês “*Root Sum Square*” ou, em português, método da raiz da soma dos quadrados), são válidos para análises onde não se considera com precisão a forma, perfil, posição, cilindridade ou orientação, como é discutido por Drake [12] e Meadows [14]. Este problema é resolvido utilizando toleranciamento geométrico, o que implica a utilização de outras técnicas de estudo da propagação de tolerâncias, como o toleranciamento paramétrico proposto por Requicha [17], que identifica um conjunto de parâmetros e lhes atribui limites, que por sua vez definem a gama de valores admissível. Singh et al. [18] reviu diferentes métodos de realocação de tolerâncias desenvolvendo modelos que consideram os desvios da média do processo ao valor nominal, resultando esses de combinações das abordagens mais básicas. Mais recentemente, Sivakumar et al. [19], apresentam novas metodologias que utilizam algoritmos inteligentes para otimização e seleção simultânea de tolerâncias, tendo em conta diversos processos de produção alternativos. Existe ainda software informático diverso, que faz uso de simulações numéricas pelo método de Monte Carlo, para prever a gama de tolerâncias consumida pelo processo [12].

No caso deste estudo, abordam-se os métodos mais tradicionais nomeadamente, o modelo WC e o modelo RSS, e pressupõe-se que os princípios do envelope e da independência são aqueles tidos em conta no controlo das peças.

#### 4.4.1 Definição da Cadeia de Cotas

Para ambos os casos, o primeiro passo numa análise de tolerâncias será sempre identificar o requisito do sistema que se pretende controlar, ou seja, a cota crítica para o



problema em estudo. Normalmente esse requisito será funcional e refletido numa folga, como no caso deste estudo, ou num componente cuja dimensão depende dos outros, como no exemplo de uma borracha ou o-ring sob aperto. Desse modo, procede-se ao desenho de um diagrama da cadeia de cotas, que é uma representação gráfica das cotas críticas na análise do requisito funcional em questão. Cada requisito requer um diagrama de cotas diferente, para realizar uma nova análise.

O diagrama de cotas pode ser vertical ou horizontal. Nos diagramas horizontais, o sentido da esquerda para a direita é o positivo, e nos diagramas verticais esse será aquele orientado de baixo para cima. Neste estudo, uma vez que se estudam cotas no sentido vertical, o diagrama será vertical. Inicia-se o “loop” (termo inglês utilizado na bibliografia [12]) na superfície de um extremo da cadeia de cotas, neste caso, na superfície mais abaixo. Cada cota do diagrama será representada por um vetor com o sentido referido acima e, deve-se seguir a cadeia de cotas pelo caminho mais curto, até alcançar a superfície do extremo superior da mesma e voltar de novo à primeira superfície, passando pela folga (requisito) que se quer controlar. É importante referir que o “loop” terá sempre de fechar-se sobre si mesmo, e que cada vetor representa uma dimensão real de uma peça, à exceção do requisito, que pode ser uma folga. O sentido do vetor é definido por uma seta na extremidade do mesmo.

Como exemplo de um diagrama pode observar-se aquele realizado para este estudo, que se encontra ilustrado na Figura 17, onde se fez uma transposição da posição vertical para a posição horizontal, por uma questão de mais fácil visualização. Neste caso, as cotas com sentido da esquerda para a direita representam a orientação de baixo para cima na válvula, o que se convencionou ser o sentido positivo, enquanto que o sentido da direita para a esquerda ou de cima para baixo são negativos.

Uma vez definido o diagrama, é possível calcular o valor médio (nominal) para o requisito funcional em estudo, utilizando a equação 4.1 [12]:

$$d_g = \sum_{i=1}^n a_i \times d_i \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde,

$a_i$  = fator que define a direção e magnitude da cota  $i$ . Será +1 ou -1.

$d_i$  = valor nominal da cota  $i$  do diagrama representativo da cadeia de cotas.

$n$  = número de variáveis independentes (número de cotas da cadeia).

$d_g$  = valor médio (nominal) da folga em análise.

Após definida a cadeia de cotas é, então, necessário selecionar o método de análise das tolerâncias, de entre as quais se abordam aqueles referidos anteriormente.

#### 4.4.1 Método do Pior Caso (WC)

Como foi dito, o modelo do pior caso é o método mais conservador, onde a análise de tolerâncias é feita para garantir que 100% das peças estão dentro da cota necessária, pois o projetista verifica se as tolerâncias atribuídas garantem, no seu pior caso, a performance do conjunto relativamente ao requisito funcional em estudo.

De acordo com este modelo, a acumulação das tolerâncias na interface analisada será simplesmente o somatório de todas as tolerâncias individuais, pelo que os limites para a variação admissível dessa folga serão dados pela equação [12]:

$$t_{wc} = \sum_{i=1}^n |a_i \times t_i| \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde,

$t_{wc}$  = variação máxima admissível para a folga utilizando o modelo WC.

$t_i$  = tolerância igual bilateral da cota  $i$  da cadeia.

Assim, pelo modelo do pior caso, a folga mínima será dada pela subtração ao valor médio nominal  $d_g$ , da variação máxima admissível calculada por este método,  $t_{wc}$ . De forma inversa, a folga máxima é obtida pela soma de  $t_{wc}$  a  $d_g$ .

Portanto, neste modelo, a única assunção por parte projetista é a de que todas as dimensões das peças estão dentro dos limites de toleranciamento, o que é garantido pelo departamento da qualidade industrial. A maior desvantagem deste método é o facto de ser conservador na atribuição das tolerâncias, considerando que a cota mensurada não pode sair da gama de valores admissíveis, pelo que se torna dispendioso quando comparado com os métodos de toleranciamento estatístico, que permitem alargar essas tolerâncias, admitindo um menor número de não conformes [12]. Em contrapartida, caso a análise seja feita corretamente, garante-se que nunca irão haver conjuntos a falhar relativamente ao requisito analisado.

#### 4.4.2 Método RSS

Por vezes, o projetista não consegue encontrar um compromisso exequível ou, por outras palavras, as tolerâncias determinadas como admissíveis pelo método do pior caso são de tal forma reduzidas que irão implicar uma elevada taxa de rejeitados. Nesse caso, para as cotas da cadeia utilizada para analisar um determinado requisito, é comum utilizarem-se métodos de toleranciamento estatístico, que retiram vantagem da teoria da probabilidade, de acordo com o que foi visto anteriormente no início deste capítulo. De entre esses, o método RSS – do inglês “*Root Sum of the Squares*” ou, em português, método da raiz da soma dos quadrados – é o mais convencional, e é aquele abordado neste estudo. A principal premissa sobre a qual este método de toleranciamento estatístico assenta, é a de que as peças são produzidas mais provavelmente perto do centro da gama de tolerâncias atribuídas, do que nos extremos da mesma. Isto porque, quando a média do processo se encontra centrada com o valor nominal, os desvios a esse valor serão provenientes de pequenos erros aleatórios, seguindo uma distribuição normal gaussiana. Outro pressuposto é o de que, quando selecionadas as peças de um conjunto aleatoriamente, é altamente improvável que todas essas peças se encontrem produzidas nos limites da especificação.

Partindo destes pressupostos, o método define que a variação dimensional esperada do requisito em análise será dada pela equação 4.2, cuja demonstração é feita em [12].

$$T_y = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_n^2} \quad (\text{Equação 4.3})$$

Onde,

$T_y$  = variação dimensional esperada para o requisito em estudo.

$T_n$  = tolerância especificada para a cota  $n$  da cadeia.

A variação dimensional esperada para o requisito em estudo, deverá ser sempre menor do que o valor obtido para os limites desse mesmo requisito pelo método do pior caso. Se isso não acontecer, o método RSS não pode ser aplicado, pois o seu objetivo é alargar a gama de tolerâncias atribuídas às cotas da cadeia, realocando a estas a diferença entre a variação dimensional esperada pelo RSS e aquela calculada pelo pior caso. Para fazer essa realocação existem diversos métodos como se referiu anteriormente, sendo que neste estudo ela é feita de acordo com o peso percentual de cada tolerância em relação à soma de todas elas, por uma questão de simplificação, uma vez que variáveis como os custos são desconhecidas.

Finalmente, uma vez que o RSS é um método de toleranciamento estatístico, refere-se como já foi dito anteriormente, que as cotas dimensionadas pelo mesmo deverão estar sujeitas a um controlo estatístico do processo produtivo. De seguida sugere-se uma forma de realizar esse controlo.

#### 4.6 Controlo Estatístico do Processo

Na OLI, o controlo de qualidade das peças produzidas é feito, na grande maioria das peças, de 3 em 3 horas, efetuando-se um controlo visual, funcional e dimensional. Com base na experiência passada e no conhecimento empírico da empresa, os tempos de espera para levar a cabo o controlo dimensional são de 1h30 para peças produzidas em POM, e 30min para peças produzidas nas restantes matérias-primas, ao invés das 16h aconselhadas pela norma. Por uma questão prática, nem todas as fichas de inspeção requerem que a peça seja submetida a um controlo dimensional, podendo essa ser submetida apenas a controlo funcional e/ou visual. No entanto, quando existem cotas especificadas para controlo essas têm de ser registadas, não bastando apenas verificar se a cota está dentro de especificação. O registo dessas cotas existe em suporte digital na base de dados da fábrica em Portugal, mas na fábrica da Rússia é feito em papel, pelo que não é viável no decorrer deste estudo obter acesso ao mesmo. Ainda assim, as potencialidades da existência de um registo não são devidamente aproveitadas para realizar um controlo estatístico, quer em Portugal quer na filial russa, o que abre portas a uma análise como a que neste estudo se realiza.

O controlo estatístico do processo surge no seguimento da utilização de métodos de toleranciamento estatístico como o RSS, mas revela-se útil em duas vertentes: por um lado, permite ao projetista conhecer a capacidade (termo utilizado na bibliografia em português, para o termo inglês "*Capability*") do processo produtivo dos componentes que desenha, e assim atribuir tolerâncias com mais confiança; por outro, e de uma forma mais imediata, permite ao departamento da qualidade, prever a probabilidade de uma cota sair dos limites, já que uma vez que as peças não são controladas a cem por cento mas em intervalos de tempo definidos, é necessário quantificar a probabilidade de haver unidades de entre as que não são submetidas a controlo, fora de especificação sem que sejam rejeitadas, por não haver esse controlo a cem por cento.

Do ponto de vista prático, esta é uma ferramenta que utiliza técnicas de análise estatística e gráficos de controlo para monitorizar as saídas de um processo ao longo do tempo [12]. Estes gráficos de controlo podem ser utilizados para revelar um problema, quantificá-lo, ajudar a resolvê-lo e, confirmar que uma determinada ação corretiva eliminou

o mesmo. A variação natural de determinado requisito dimensional – e por requisito dimensional entende-se toda a característica de instalação, montagem, ou detalhe de uma peça, cuja variação dimensional implica o maior impacto na montagem, performance e tempo de vida do conjunto [12] – define a capacidade do seu processo produtivo, que será uma comparação entre a variabilidade total do processo e a sua especificação.

Passando aos cálculos, através da medição de várias cotas de referência para uma peça e num grupo de amostras, obtém-se o seu tamanho médio, através do cálculo da média aritmética. Se as amostras forem independentes e as medições individuais forem representadas pelas letras  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ , então a equação para cálculo da média será [14]:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad \text{Equação 4.4}$$

Onde  $n$  representa o número de medições efetuadas ou, por outras palavras, o tamanho do espaço amostral utilizado.

Neste ponto assume-se que dispersão dos componentes assume uma distribuição normal. Isto porque, como foi estudado, o processo de moldação por injeção depende de uma enormidade de pequenas variações aleatórias que exibem geralmente um comportamento gaussiano, ou seja, ele ocorre mais provavelmente em torno do valor médio do que em zonas da curva gaussiana afastadas do centro. Esse comportamento gaussiano define-se por recurso à distribuição normal, que é um modelo matemático, pelo que se deve ter em conta que existe sempre um erro associado ao mesmo, embora a sua utilidade seja justificada neste estudo [12]. A dispersão de uma população é medida, em distribuições normais, através do desvio padrão  $\sigma$ , cuja equação será [14]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \mu)^2}{N}} \quad \text{Equação 4.5}$$

Onde:

$\mu$  = valor médio da população;

$N$  = número de indivíduos da população.

Relembra-se que  $\sigma$  representa o desvio padrão de toda a população, ou seja, de todas as peças produzidas e não apenas de uma amostra dessas peças. No entanto, quando o número de indivíduos do espaço amostral tende para infinito, o desvio padrão amostral ( $s$ ) irá igualar o valor do desvio padrão da população ( $\sigma$ ). Em estudos da natureza daquele que aqui se apresenta, é aceitável considerar que, quando utilizadas mais de 30 amostras, o desvio padrão amostral e o desvio padrão da população irão ser iguais, pelo que se justifica a igualdade seguinte [14]:

$$\sigma = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad \text{Equação 4.6}$$

Calcula-se ainda a função de distribuição normal de probabilidade baseada nos dados recolhidos através da seguinte equação:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{Equação 4.7}$$

A quantificação de toda esta informação, permite ao projetista comparar desenhos atuais com um histórico da capacidade do processo e prever o desempenho do processo relativamente a uma determinada especificação, procedendo assim à melhoria do seu desenho ainda numa fase inicial do desenvolvimento, baseando-se em dados concretos ao invés de estimativas baseadas em experiência passada. Assim, pressupõe-se que o projetista conheça o processo produtivo e compreenda as relações entre as características da peça e o seu design [12]. Normalmente, a capacidade do processo é expressa na indústria pelos coeficientes “Cp” (equação 4.8) e “Cpk” (equação 4.9), sendo estes utilizados como indicadores da variabilidade de um processo, que devem ser continuamente melhorados. A grande vantagem destes coeficientes, é que são adimensionais e não dependem do comprimento da cota que caracterizam. O coeficiente Cp mede apenas a variabilidade do processo, e pode ser calculado pela equação [4]:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{\text{Gama da Especificação}}{\text{Capabilidade do Processo}} \quad \text{Equação 4.8}$$

Onde:

USL = Limite superior especificado;

LSL = Limite inferior especificado;

Este coeficiente poderá ser útil numa empresa como a OLI, na medida em que serve de ferramenta de comunicação entre o Departamento de Design e Desenvolvimento e os restantes departamentos responsáveis pela produção e controlo, ou seja, uma ferramenta de apoio à engenharia concorrencial anteriormente referida. O projetista é responsável por definir na equação 4.8 do Cp a largura da especificação (numerador), enquanto que o departamento de industrialização é responsável por garantir a variabilidade máxima do processo produtivo (denominador). No entanto, este coeficiente apresenta uma contrapartida, pois reflete apenas como o processo corresponde à especificação, assumindo que este está centrado sobre o valor alvo (ou seja, o valor médio tem o mesmo valor que a cota nominal), não levando em linha de conta o desvio da média do processo em relação à cota nominal. Para contabilizar esse desvio, utiliza-se um outro coeficiente, Cpk [4]:

$$C_{pk} = \frac{\text{menor} \{USL - \bar{X}, \bar{X} - LSL\}}{3\sigma} \quad \text{(Equação 4.9)}$$

Onde:

$\bar{X}$  = Valor médio do processo;

Para o cálculo de Cpk, determina-se a distância do valor médio do processo ao limite especificado mais próximo, ou seja, se os desvios da média em relação a ambos os limites apresentarem o mesmo valor, então o processo estará centrado. Assim, por este coeficiente obtém-se uma medida do desvio do processo em relação à cota nominal. Há ainda uma gama de outros coeficientes e indicadores utilizados numa perspetiva de melhoria contínua, mas os abordados neste estudo serão os mais comuns e mais amplamente divulgados [4].

Resumidamente, na análise deste coeficiente pode-se depreender que se:

1.  $C_p < 1$ : então a dispersão do processo é maior do que a gama de valores especificada, se o alvo do design for para  $\pm 3\sigma$ .

2.  $C_p \geq 1$  e  $C_{pk} \leq 1$ : então a dispersão do processo é menor ou igual à gama de valores especificada, mas um dos limites do processo está para além da especificação desse limite a  $\pm 3\sigma$ .
3.  $C_p \geq 1$  e  $C_{pk} \geq 1$ : então a dispersão é menor ou igual à gama de valores especificada, e os limites encontram-se dentro dos limites especificados e, portanto, o processo é considerado capaz para  $\pm 3\sigma$ .

Se o objetivo do design for o de obter uma peça onde os valores limite para o toleranciamento correspondem a, por exemplo  $\pm 6\sigma$ , ou seja, quando se pretende obter defeitos apenas em 3,4 ppm, então – como se descreve na secção seguinte – o  $C_p$  terá de exibir um valor mínimo de 2 e o  $C_{pk}$  um mínimo de 1,5 [12]. Em suma, se existir conhecimento destes coeficientes é possível de forma quase imediata perceber a probabilidade de obter unidades não conformes, e consegue-se transmitir essa informação num único indicador que não depende do valor nominal de cada cota.

#### 4.6.1 Ideologia “Six Sigma” na qualidade

“Six Sigma” (marca registada da Motorola) é uma abordagem ao nível de toda uma organização, utilizada para alcançar melhorias ligadas a resultados significativos na raiz dos processos. Um dos pontos-chave desta ideologia é a recolha de dados e análise estatística, que, quando combinada com os restantes métodos desta abordagem, tem o objetivo de diminuir os erros para valores próximos de zero partes por milhão [4]. Esta filosofia parte do princípio de que existe uma correlação direta entre o número de defeitos, custos acrescidos nos processos e o nível de satisfação do cliente, e através de quantificações estatísticas mede a capacidade do processo em produzir “outputs” livres de defeitos [20].

Sigma, a letra grega  $\sigma$ , é utilizada no campo da estatística, para quantificar a extensão da distribuição de uma população em torno de um valor médio, sendo que a grande maioria dos processos segue uma curva gaussiana de distribuição normal, idealmente centrada nesse valor médio, como referido anteriormente. A área diretamente abaixo dessa curva limitada horizontalmente por valores arbitrários, será a probabilidade do processo ocorrer dentro desses limites. Na ideologia em questão,  $\sigma$  - ou seja, o desvio padrão - é a medida da variação de um processo, que é melhorado ao fazer-se diminuir a extensão dessa distribuição. Esta mudança de paradigma leva a que, quanto o projetista especifica um limite mínimo (LSL) e um limite máximo (USL), ele tem de assumir que a esses valores corresponderá uma gama de múltiplos de sigma também ela definida por si.

A comparação entre os limites e os desvios padrão que a eles correspondem, é feita com base nos coeficientes adimensionais  $C_p$  e  $C_{pk}$ , que não dependem da dimensão da cota. Uma vez que, por convenção, o  $C_p$  é calculado sempre para uma gama de processo  $\pm 3\sigma$ , se o seu valor for de 2 significa que se tem a dispersão necessária para responder a uma exigência de  $\pm 6\sigma$  (ou uma probabilidade de ocorrência de 99,999998% - Figura 9). O objetivo será, portanto, alargar as tolerâncias ou reduzir a variação do processo até que 99,999998% das peças estejam confinadas dentro de um limite de especificação correspondente a  $\pm 6\sigma$  - limite esse que é arbitrado - em características do produto ou peça, críticas para a qualidade, isto é, características cujo defeito ou falha comprometem o funcionamento desse produto e, portanto, vão no sentido oposto à definição de qualidade, originando insatisfação no cliente. [20]

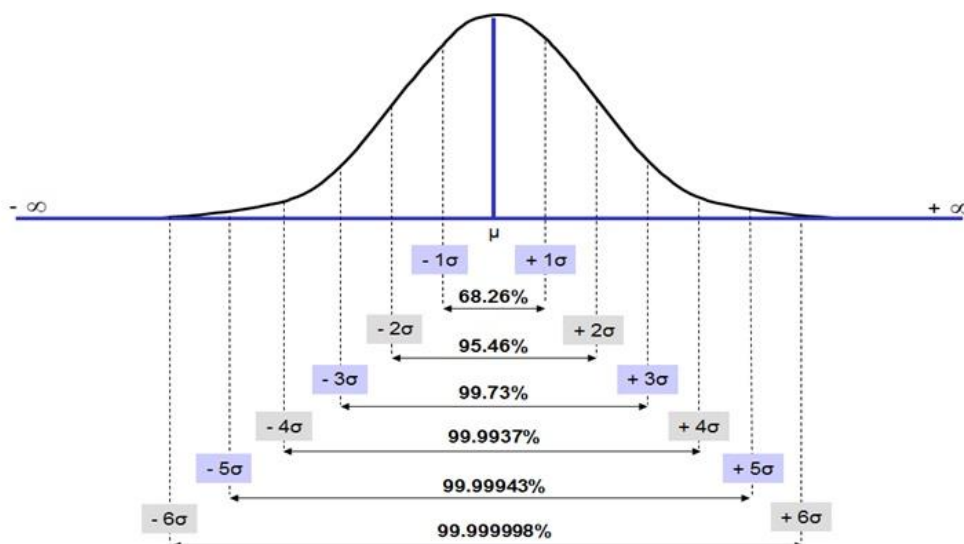


Figura 9. Representação de uma curva de distribuição normal e os desvios padrão, e as respectivas probabilidades de ocorrência.

No entanto, o  $C_p$  assenta numa visão a curto prazo, que assume que o processo irá estar centrado no valor nominal, o que nem sempre é verdade, como foi referido anteriormente. Na realidade, o processo irá degradar-se ao longo do tempo, fruto de desgaste do material das ferramentas, mudanças de temperatura, e todas as fontes de variabilidade já referidas no capítulo 3. Assim, admite-se com base no histórico da indústria que o processo típico deverá desviar-se da sua média inicial, aproximadamente  $\pm 1.5\sigma$ , em determinado ponto no tempo [20]. Com isto em mente, é possível prever de antemão qual a capacidade do processo a longo prazo, sendo que se a curto prazo a especificação de determinado requisito variar entre  $\pm 6\sigma$ , a capacidade mais realista ( $C_{pk}$ ) desse processo será aproximadamente  $6.0\sigma - 1.5\sigma = 4.5\sigma$ , o que corresponde uma taxa de unidades não conformes de 3.4 ppm.

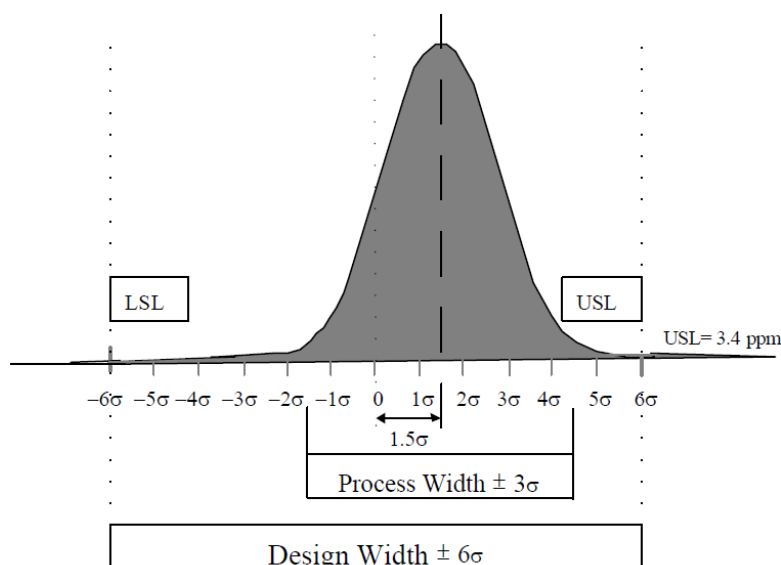


Figura 10. Representação da curva de distribuição normal da população de um processo com a média desviada do valor nominal [12].

Rapidamente se percebe a importância desta análise numa organização como a OLI, que produz grandes séries de componentes em plástico. Estes coeficientes permitem a comunicação interdepartamental, dando-se como exemplo de um possível procedimento, o departamento responsável pela qualidade, informar o responsável pela injeção de que o valor para determinado coeficiente se encontra a diminuir, permitindo a esse levar a cabo ações corretivas, variando por exemplo, parâmetros de injeção de forma a refinar o processo e aproximá-lo do valor nominal, mantendo o foco na diminuição de não conformes ao invés de tentar indefinidamente centrar o processo relativamente a esse valor. Citando Harry (1998) [20], “quando se estabelece um controlo estatístico do processo, facilita-se a tarefa de realizar uma melhoria contínua, a necessidade de testes e inspeção diminui, a quantidade de trabalho em execução diminui, os custos diminuem, o tempo de ciclo diminui e a fiabilidade do produto e a satisfação do cliente aumentam”.



## 5. Válvula de Descarga URAL

No âmbito deste estágio, selecionou-se a válvula URAL como caso de estudo, pois é um produto que apresenta algumas falhas passíveis de serem estudadas, com interesse para a OLI.

Uma válvula de descarga poderá ter como definição, a de um mecanismo de utilização destinado a permitir a descarga de água necessária à limpeza eficiente de uma sanita, mediante comando (acionamento) do utilizador, executando após a descarga, o seu fecho automático (independente da intervenção humana) e mantendo a vedação do tanque sem fugas até que seja acionado novamente. A cadeia de movimentos desde o acionamento até ao fecho pode ser considerada como um ciclo de trabalho da válvula, podendo este ser feito por recurso a vários conceitos que, por norma, assentam em princípios hidráulicos e mecânicos. A grande variedade de produtos apresentados pela OLI reside no facto de cada mercado exigir diferentes normas e cada cliente ter diferentes requisitos, tais como: altura da coluna de água, dimensões do tanque, volumes de descarga, tipo de descarga (dupla ou simples), tipo de acionamento, e ainda a possibilidade de regular um ou vários destes parâmetros. É por esse motivo que não existe uma forma única de produzir uma válvula com este fim, para além do facto de que nem sempre uma válvula que responda a todos os requisitos é suficiente para garantir vendas, pois é necessário considerar sempre o aspeto económico, que dita se o cliente irá optar pelo produto da empresa ou pela concorrência.

### 5.1 Componentes da Válvula URAL

A válvula URAL é constituída por 17 componentes e um sub-conjunto (botão) que integra, por sua vez, cinco peças. Assim, a válvula engloba um total de 22 peças, sendo que três desses são adquiridos a fornecedores externos (duas anilhas vedantes e uma mola em aço inoxidável), e os restantes 19 são produzidos na OLI através do processo de moldação por injeção. Esta aposta em produzir todos os componentes dos seus produtos (à exceção de componentes standard, como molas ou parafusos adquiridos) deve-se à ideologia de inovação presente na empresa, uma vez que a mesma controla todo o processo desde a ideia ao produto final, levando a que se tenham de criar novas soluções para personalizar cada vez mais os produtos e responder às exigências do mercado, o que muitas vezes resulta no registo de novas patentes. A empresa tem, neste momento, 50 patentes ativas na Europa (42 de invenção e 8 de design), sendo das empresas portuguesas que mais patentes regista neste continente.

Os 22 componentes constituintes da válvula de descarga URAL, aqui numerados de acordo com a vista apresentada no anexo (Anexo D1) – com exceção dos componentes pertencentes ao sub-conjunto do botão, que correspondem aos números 18,19,20,21 e 22 – e respetiva função, são assim:

1. Anilha vedante da válvula – Componente de silicone adquirido a fornecedores externos, com a função de realizar a perfeita vedação entre o tubo inferior e a pilette, garantindo um fecho eficiente sem quaisquer fugas de água do reservatório (neste par de contacto). Pode-se considerar que este

- componente se encontra em contacto permanente com o tubo inferior (ao qual se encontra fixo) e a pilette (exceto durante o período de descarga), constituídos por PP e ABS, respetivamente.
2. Anilha vedante da pilette – Constituída de EPDM (etileno-propileno-dieno), um elastómero na forma de uma esponja densa, que tem a função de vedar a junta de contacto entre a pilette (ABS) e o reservatório (plástico ou cerâmico), bem como acomodar o aperto provocado pela ligação roscada da primeira com a porca da pilette.
  3. Boia – Fabricada em PP, a boia tem a função de reter ar no seu interior quando se inicia o enchimento do reservatório, bem como durante o tempo que este estiver cheio. Este ar exerce uma força de impulsão (quando submerso), que é contrariada pela força exercida no vedante, pela coluna de água, por diferença de pressão. Quando o tanque está cheio a impulsão não é suficiente para elevar a válvula, mas assim que é feito o acionamento da descarga, o movimento exercido por esse acionamento é transmitido até à boia, pelo que esta levanta e se inicia o escoamento. A partir deste momento, a boia tem a função de ajudar a manter o sistema em equilíbrio através da força de impulsão e de um fenómeno de colagem ao copo por tensão superficial da água. Assim que a água desce ao nível da boia, o equilíbrio é quebrado através da entrada de ar no copo e o conseqüente desaparecimento da tensão superficial que mantinha a boia “colada” ao copo, fazendo cair o sistema e fechando, deste modo, o reservatório.
  4. Copo – Produzido em ABS, este componente tem várias funções, uma vez que serve como base de fixação para o restante da válvula. É assim responsável pelo guiamento da haste e respetiva fixação e pelo guiamento do pesante e da bóia, o que faz com que seja responsável pelo guiamento de todo o movimento de acionamento e todas as peças afetas ao mesmo (tubo inferior, tubo superior, mola seletora). Serve também como batente para a mola seletora, o que vai determinar se a descarga efetuada será meia ou completa. Por fim, este copo deve assegurar a suspensão da boia por colagem (através da tensão superficial da água, como referido anteriormente). De realçar que é a peça com maior número de pares de contacto.
  5. Tubo inferior – Produzido em PP, serve como suporte ao vedante da válvula e à boia, e também como guiamento do tubo superior e suporte da mola seletora no caso de se acionar a meia descarga, através de uma saliência onde a mola seletora se apoia nesse caso. Tem ainda a função de atuar como tubo ladrão, o que lhe confere a responsabilidade de fazer escoar a água em excesso em caso de falha na vedação do enchimento (este processo encontra-se descrito adiante).
  6. Tubo superior – Produzido em ABS, este tubo tem como funções: regular a altura da meia descarga, através de entalhes onde se pode subir ou descer o pesante; garantir o correto posicionamento do mecanismo, através de pequenos furos onde o extensor encaixa e pode subir ou descer para corresponder à altura pela qual a haste for regulada; servir como suporte da mola seletora, sendo assim determinante na realização da meia descarga.
  7. Pesante – Produzido em PP, este recipiente acumula água no seu interior quando submerso. Isto permite que, quando ativada a meia descarga, esta água funcione como pesante a partir do momento em que a linha de água do tanque desça até ao seu nível, fazendo cair o sistema e executando o fecho prematuro a válvula. Caso a meia descarga não seja acionada, este

- componente tem apenas e só uma função de guiamento do sistema, uma vez que se encontra acoplado ao tubo superior, e desliza pelas paredes do copo.
8. Haste – Produzida em ABS, tem uma função meramente estrutural, pois assegura o correto posicionamento da base do casquilho roscado, bem como da alavanca que transmite o movimento de acionamento. É também determinante na regulação da altura da válvula que permite o ajuste da mesma à altura do reservatório, através de furos retangulares onde encaixam pequenos pinos presentes no copo (a descrição desta regulação encontra-se adiante).
  9. Base do casquilho roscado – Produzido em POM, é responsável por servir como base para o casquilho roscado, casquilho esse que servirá ainda de base para o botão. Este componente deve deslizar sobre a haste sem prisões, por forma a permitir o descentramento do botão relativamente à base da válvula.
  10. Casquilho roscado – Produzido em POM, este casquilho é acoplado à base do casquilho roscado, podendo deslizar sobre a mesma, por forma a permitir o descentramento do botão em mais uma direção (sendo assim possível mover o botão num plano horizontal 2D 24x24mm). É responsável por manter o alinhamento vertical, servindo de base onde o botão se vai acoplar, e fazendo o guiamento do pino de comando.
  11. Pino de comando – Este pino, produzido em POM, é responsável pela transmissão vertical do movimento de acionamento do botão, para a alavanca, independentemente do descentramento do botão. É, de igual modo, o componente que transmite o movimento vertical para cima, quando a válvula fecha, devolvendo o botão à sua posição de repouso.
  12. Alavanca – Produzida em POM, tem uma função de transmissão do movimento, assumindo também um papel fundamental na multiplicação do curso efetuado pelo botão, que será menor do que o curso realizado pelo sistema graças a este componente e conjunto com o extensor.
  13. Extensor - Produzido em POM, tem como função a transmissão do movimento de acionamento, e da multiplicação do curso efetuado pelo botão, que será menor do que o curso realizado pelo sistema graças a este componente e conjunto com a alavanca. Encontra-se acoplado à alavanca e ao tubo superior, sendo responsável pela correta regulação da altura do mesmo.
  14. Regulador do residual – Produzido em POM, este componente tem, como o nome indica, a função de regular o nível do residual de água que permanece no reservatório após uma descarga completa. Quando se efetua uma descarga completa, e o nível de água desce, este regulador é responsável pela entrada de ar no copo através de um furo (posicionado a uma altura regulável), o que quebra a tensão superficial entre a boia e o copo, anulando o equilíbrio do sistema e fazendo assim, cair a válvula.
  15. Pilette – Produzida em ABS, tem a função de, por um lado, servir como base de acoplamento para o copo da válvula, e por outro, servir de acoplamento do conjunto da válvula ao reservatório (seja ele em plástico ou em cerâmica), através da ligação roscada com a porca da pilette – que estará presente do lado de fora do tanque.
  16. Porca da pilette – Produzida em ABS, serve apenas para roscar na válvula e assim efetuar o acoplamento da mesma ao reservatório.
  17. Mola seletora – Produzida em POM, tem a função de fazer a comutação entre meia descarga ou descarga completa, tocando no batente existente no copo, consoante o curso efetuado pelo botão. É acoplada ao tudo superior através

de um eixo, e deve ter um movimento de rotação livre sobre o mesmo, sem quaisquer prisões, uma vez que apresenta bastante sensibilidade para um mecanismo deste tipo.

18. Caixa do botão – Produzida em ABS e posteriormente passando por um banho de cromagem, tem a função de albergar os restantes componentes do botão, bem como fazer a fixação deste à válvula, através de uma ligação roscada com o casquilho roscado. Além disso tem uma função visual uma vez que parte da sua superfície fica visível para o utilizador.
19. Capa da descarga total – Produzida em ABS e passando, posteriormente, por um banho de cromagem, serve como acabamento visual do botão. É responsável por garantir o curso da descarga completa, bem como servir de batente dentro do botão, limitando o curso da base do mesmo, o que impede que se ative a meia descarga.
20. Capa da descarga parcial – Produzida em ABS e passando, posteriormente, por um banho de cromagem, serve como acabamento visual do botão. É responsável por garantir o curso da descarga parcial (meia descarga).
21. Base do botão – Produzida em POM, serve de base para as capas das descargas total e parcial, fazendo também o guiamento destas e a transmissão do movimento imposto pelo utilizador ao pressioná-las, até ao pino de comando, ao qual está acoplada por meio de uma ligação roscada.
22. Mola de aço inoxidável – Apesar de ser acessório, este componente é responsável por fazer retornar a base do botão à sua posição inicial, o que na realidade aconteceria sem a sua presença quando a válvula se encontra montada no seu posto final. No entanto, ao apresentar o conjunto da válvula ou do botão sem que estejam num autoclismo, a base do botão aparenta estar solta, o que transmite uma ideia de falta de robustez ao cliente, pelo que a mola tem uma função que se prende com o aspeto visual ou sensorial. Além disso, pelo facto de manter a base do botão em posição, facilita a montagem do mesmo aquando do movimento de roscagem.

## 5.2 Funcionamento da Válvula URAL

De entre os componentes anteriormente descritos, encontram-se fixos após a montagem no posto de funcionamento: porca da pilette; vedante da pilette; pilette; copo; haste; base do casquilho roscado; casquilho roscado; caixa do botão; regulador do residual. Os restantes componentes movem-se em conjunto aquando do acionamento, formando um sistema mecânico solidário. Esses são: capa da descarga parcial; capa da descarga total; mola de aço inoxidável; base do botão; pino de comando; alavanca; extensor; tubo superior; tubo inferior; pesante; mola seletora; boia; vedante da válvula.

Partindo da posição de repouso tenta-se, nesta secção, fazer uma descrição do funcionamento da válvula. Assim, numa situação de funcionamento normal, em que o tanque de autoclismo está cheio, todo o sistema móvel encontra-se na posição de repouso, com o tubo inferior (que suporta o vedante da válvula) na sua posição mais descida, garantindo o encosto entre a pilette e o vedante da válvula, obrigando a que esta se encontre selada. Ao ser efetuado o acionamento da descarga completa, a capa da descarga completa é pressionada, obrigando a base do botão a descer. A base do botão, ao descer, é solidária com o pino de comando, através de uma ligação roscada entre ambos, fazendo com que

também esse pino de comando se mova na direção de cima para baixo. Este pino é guiado no interior do casquilho roscado, e contacta com a alavanca através de um simples encosto livre, que pressiona a alavanca e a faz rodar sobre o eixo segundo a qual se encontra acoplada à haste. Esse acoplamento entre a alavanca e a haste é feito por meio de dois pinos da alavanca inseridos em dois furos na haste, e permite rotação livre. Assim, a alavanca transforma o movimento de translação em rotação, pressionada de um dos lados pelo pino, elevando do lado oposto o extensor, através de um acoplamento por meio de um eixo composto por dois pinos (no extensor) inseridos em furos com o mesmo eixo, presentes na alavanca. Com a subida do extensor, sobe também o tubo superior que se encontra acoplado a ele, mais uma vez por meio de um pino inserido num furo, com rotação livre segundo esse eixo. O tubo superior tem solidário consigo o pesante, e suporta também o tubo inferior, ao deslizar sobre o mesmo até tocar dois frisos que fazem o tubo inferior apoiar-se sobre o tubo superior. Assim, quando o tubo superior sobe, transporta consigo o tubo inferior, podendo, posteriormente, descer deslizando sobre o tubo inferior sem o retirar da posição de trabalho (descarga completa acionada), ou ficar solidário com ele, passando a funcionar como pesante (descarga parcial acionada). Isto é importante para que a válvula se mantenha aberta, pois a boia que se encontra fixa ao tubo inferior, mantém-se na posição de acionamento por ação da força de impulsão do ar presente no seu interior, em conjunto com a tensão superficial provocada pela camada de água presente entre ela e o copo, o que impede a separação dos dois componentes durante o decorrer da descarga. Assim que o nível de água no interior do tanque desce abaixo do nível do regulador do residual, a tensão superficial é quebrada pela entrada de ar entre a boia e o copo por meio do furo presente no regulador, o que faz com que a boia perca a força de impulsão e todo o sistema solidário consigo caia, fazendo o vendante encostar novamente na pilette, selando a válvula.

Como referido anteriormente, a URAL foi desenvolvida com o objetivo de ser uma válvula universal com dupla descarga. Isto significa que o autoclismo pode descarregar 6L (valor standard para descarga completa) ou 3L (valor standard para descarga parcial, ou meia descarga). A válvula pode ser regulada de várias formas, pelo utilizador final, que efetua uma compra da mesma em avulso, ou aquando da montagem na fábrica de acordo com o pedido de cada cliente (em casos de grandes encomendas). Estas regulações podem ser as seguintes:

- Regulação da altura da haste: isto permite alongar ou encurtar a válvula, de forma a que esta se ajuste à altura do reservatório. Neste caso, o ajuste é feito por recurso a furos na haste espaçados de 8 mm, onde encaixam dois pinos presentes no copo.
- Regulação da altura do tubo ladrão: o tubo ladrão (denominação atribuída ao tubo inferior, quando referente a esta função), apresenta sulcos ao longo da sua geometria, os quais são facilmente removidos através de um corte com tesoura, x-ato, ou objeto similar. Isto é importante, uma vez que por vezes o tubo terá de ser cortado para a válvula caber dentro do reservatório. Ainda mais importante, o bordo superior deste tubo terá de estar pelo menos 20 mm acima da linha de água, pois o mesmo tem a função de permitir o escoamento de água em caso de falha na vedação da válvula de enchimento, por forma a impedir uma potencial inundação.
- Regulação do nível do residual: por residual entende-se o volume de água que permanece no reservatório após uma descarga completa. Este parâmetro é controlado porque, por vezes, é vantajoso ter uma coluna de água elevada para uma descarga eficiente, mas isso pode implicar ter mais do que 6L de capacidade, dependendo do formato do reservatório. Com esta regulação,

mesmo que o reservatório tenha uma capacidade superior a 6L, é possível regular o residual e interromper a descarga no momento em que se atinge o nível correspondente a uma descarga de 6L. Portanto, para ter a coluna mais alta possível, e descarregando os 6L da descarga completa, ainda assim alguma água terá que ficar retida através desta regulação, que é feita por recurso a uma pequena janela com diversos furos, presente no copo da válvula.

- Regulação da meia descarga: como já dito, a meia descarga corresponde a uma descarga de 3L, cuja altura e volume que podem ser regulados através de pequenos entalhes no tubo superior, num dos quais encaixa uma pequena saliência presente no pesante. Este pesante funciona como um recipiente de água que, quando o nível da linha de água do reservatório desce, cai por ação da gravidade e força o fecho da válvula. A escolha entre meia descarga ou descarga completa é feita pelo utilizador, por recurso ao botão (acionamento no presente caso de estudo).

Para ser efetuada a meia descarga, o acionamento deve ser feito no botão da descarga parcial, ao invés da descarga completa. Esta capa não tem batente por baixo de si, pelo que o curso realizado pela base do botão até que esta encoste na a caixa do botão, será maior do que o da descarga completa. Assim, a cadeia de movimentos será semelhante, com a particularidade de que o sistema móvel subirá mais. O tubo superior tem acoplada a si a mola seletora, responsável por fazer a distinção entre descarga completa e descarga parcial, rodando segundo o eixo de um acoplamento de um veio cilíndrico dentro de um encaixe cilíndrico. Quando esta mola sobe o suficiente para acionar a meia descarga, toca num batente existente no interior do copo da válvula, que a faz rodar até encostar ao tubo inferior, onde existe um suporte onde a mola seletora irá encaixar quando o tubo superior iniciar a sua descida. Deste modo, o tubo superior e o tubo inferior passam a ser solidários, pelo que a descida do tubo inferior e, conseqüentemente, do vedante, deixa de ser feita após a quebra da tensão superficial entre a boia e o copo. Em vez disso, assim que o nível da água diminui até atingir o nível do pesante, o peso deste quebra o equilíbrio de forças e obriga todo o sistema a descer de forma solidária, efetuando o fecho da válvula. Se a mola seletora não subir o suficiente, o tubo superior e o tubo inferior continuam a ser independentes pelo que a descarga será completa e regulada pelo regulador do residual.

Além de tudo isto, ainda pode ser ajustado o descentramento do botão (o eixo do furo do botão pode não ser perfeitamente alinhado com o eixo do furo no tanque onde a válvula vai ficar acoplada), o que permite que a válvula possa ser ajustável à gama de reservatórios pretendida. Existe ainda a possibilidade de o produto não apresentar descarga dupla (Figura 11, à direita – a partição maior representa descarga completa enquanto que a mais pequena representa descarga simples), podendo esta, em vez disso, ser simples, com a utilização de um botão de descarga simples (Figura 11, à esquerda).

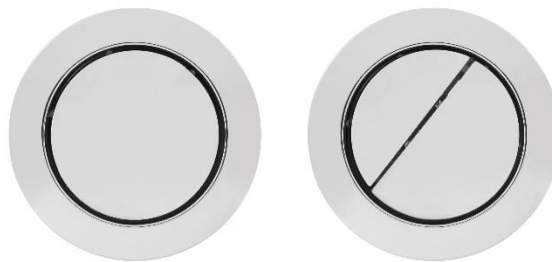


Figura 11. Exemplo de botão de descarga simples (esquerda) e descarga dupla (direita).

### 5.3 Análise de Falhas da Válvula URAL

No sentido do enquadramento deste estágio, o plano de trabalhos passa pela análise de modos de falha da válvula URAL, de forma a estabelecer metodologias de avaliação que permitam prevenir essas potenciais falhas ainda em fase de desenvolvimento de um projeto. Como foi referido no capítulo 4, quanto mais cedo no projeto são corrigidos potenciais problemas, melhor o design, menor o custo, e maior a satisfação do cliente. Já no capítulo 2, refere-se a realização de vários tipos de FMEA como etapas do fluxo de projeto. No entanto, neste projeto em particular não foi realizado um FMEA funcional, ou seja, um FMEA que prevenisse falhas ao nível do funcionamento do produto. Isto deve-se ao facto de este produto ser semelhante em funcionamento a tantos outros já concebidos pela OLI, pelo que o projetista sabe de antemão quais os problemas que podem surgir, com base na sua experiência e também na experiência de membros do departamento que colaboram na fase de conceção e alertam para eventuais problemas que o próprio não tenha tido em conta. Este diálogo toma lugar em diversas pequenas reuniões ao longo do projeto, pelo que a realização de um FMEA funcional global perde, em certa medida, o seu sentido prático, uma vez que consome tempo de vários colaboradores para que seja realizado numa fase inicial, e problemas mais detalhados continuariam a surgir adiante, havendo necessidade de realizar igualmente estas pequenas reuniões. Ainda assim são realizados FMEA de injeção e FMEA de montagem, para prevenir eventuais dificuldades, obstáculos ou problemas relacionados com a produção.

Apesar de tudo isto, como seria de esperar numa situação normal, surgem problemas em diversas fases do projeto. A Tabela 2 que compila de uma forma resumida, todos as falhas de funcionamento reportadas após a conclusão da fase um do projeto, não sendo referidos problemas de montagem ou de produção, uma vez que se pretende avaliar uma metodologia preventiva estudando o produto quando este desempenha as funções para as quais é desenhado.

Tabela 2. Falhas funcionais reportadas da válvula URAL.

Falha	Deteção	Corrigida
Prisões da boia quando existe alguma inclinação da válvula no ressalto existente na pilete	Ensaio produto final	Sim
Prisões da boia nos pilares da pilete	Ensaio produto final	Sim
Rebarba no encaixe do pesante no tubo ladrão leva a prisões na válvula.	Ensaio produto final	Sim
No botão, por vezes, após meia descarga a capa da descarga completa fica subida.	Testes de vida	Sim
Por vezes sistema prende em cima após descarga, ficando sempre a verter	Testes de vida	Sim
Descargas irregulares. Falta de precisão.	Testes de vida	Não
Falhas nas descargas completas. Faz meia descarga em vez de descarga completa.	Testes de vida	Não
Residual diminuiu e ficou inconstante.	Testes de vida	Não

Da Tabela 2, observa-se que as falhas funcionais reportadas são detetadas nos ensaios de peça final ou nos testes de vida, o que seria de esperar, pois são os momentos onde é verdadeiramente testado o funcionamento da válvula em questão. No caso de falhas previstas anteriormente, essas terão sido obviamente corrigidas pelo projetista na fase de desenho, pelo que não terão chegado a existir. Um grande problema de uma deteção nesta fase, é o facto de o projeto estar já numa fase avançada, uma vez que os ensaios de produto final se realizam na fase dois, e os testes de vida na fase três do mesmo. No caso das falhas já corrigidas, esta correção passou sempre por uma alteração ao nível do desenho, sendo que na maioria dos casos foram pequenas correções. Ainda assim, o custo destas pequenas alterações é considerável, pois para se poderem efetuar, o molde terá de ser retificado, sendo também necessário passar por uma série de procedimentos que consomem tempo do projeto, que tem uma data limite para ser concluído.

De entre as falhas ainda por corrigir, deve-se avaliar a gravidade de cada falha, quantificando o risco da existência de cada uma, para que o autor possa abordar uma falha relevante. Isto pode ser feito com recurso a um FMEA adaptado, ferramenta já abordada no capítulo 2 que pode ser utilizada para analisar falhas de um processo ou produto já existente [4]. Assim, tenta-se levar a cabo uma análise FMEA funcional – ainda que de uma forma enviesada, uma vez que o autor deste relatório a realiza sozinho, baseando-se na sua observação do processo da organização e nos conhecimentos e esclarecimentos transmitidos pelo pessoal do departamento de design e desenvolvimento – bem como um estudo acerca da possibilidade de incorporar estas falhas numa folha de FMEA funcional que possa servir para prevenir outros produtos semelhantes daqui em diante. A análise de risco encontra-se Tabela 3, onde, ao invés de se partir da função, parte-se da falha para perceber que função é afetada.



Tabela 3. Adaptação de um FMEA funcional para a válvula URAL.

Falha	Função ou Requisito	Efeito da falha	Severidade	Causa da Falha	Ocorrência	Ação de Controlo	Deteção	RPN
Descargas completas irregulares.	Descarregar 6L na descarga completa.	Volume da descarga completa é superior ao pretendido.	4	Dificuldade em estabilizar o sistema hidráulico.	6	Testes de vida.	3	72
Falhas nas descargas completas. Faz descarga parcial.	Realizar descarga completa e parcial independentes	Acionamento indesejado da descarga parcial.	6	Acionamento da descarga completa efetua demasiado curso, acionando a descarga parcial.	6	Testes de vida.	5	180
Nível de água residual no tanque após descarga diminui.	Descarregar 6L na descarga completa.	Volume da descarga completa é superior ao pretendido.	4	Sistema hidráulico instável.	6	Testes de vida.	3	72

O FMEA da Tabela 3 encontra-se incompleto, pois é apenas exemplificativo daquilo que pode ser feito nesta fase, quando na realidade deve ser registada informação acerca das ações definidas para eliminar as causas das falhas, o responsável por levar a cabo essas ações e, o registo dos resultados. Ainda assim, com a realização desta análise parcial, pode-se depreender qual o problema que representa mais risco para o produto, ao nível do desempenhar das suas funções e da satisfação do cliente. Apesar de este risco ser avaliado de forma quantitativa, isto não significa que um problema seja menos importante do que outro, pois acima de determinado valor, todos encontram pertinência na sua resolução. Esta ferramenta ajuda a priorizar e a definir quais os problemas em cuja resolução se deve investir mais recursos. Além disso, nem sempre o problema mais crítico será o mais difícil de resolver, pelo que a decisão passará sempre por uma discussão entre a equipa, mesmo quando realizada uma análise deste género.

Assim, em discussão com vários membros do departamento decidiu-se que a falha cuja resolução seria mais pertinente seria o acionamento da descarga parcial quando se pretende acionar a descarga completa, onde há dificuldade em encontrar uma forma expedita de controlar a variação dimensional relativa ao curso da descarga completa. Isto porque, a diferença de curso entre o acionamento da descarga completa e o acionamento da descarga parcial é de, aproximadamente, 6,19 mm. Além de ser recorrentemente reportada a sua ocorrência em testes de vida, esta falha foi testada pelo projetista em ensaios onde se remove o botão e se efetuam acionamentos de formas diferentes, constatando-se que ela ocorre igualmente, deduzindo-se que será independente das condições de teste, o que leva a crer que não depende do conjunto do botão ou do tipo de acionamento (autómato ou humano) mas do facto de a folga existente entre a mola seletora e o batente que a aciona ser bastante pequena, e por isso sensível a qualquer agravação aleatória das condições de teste, resultando essa variação em falha de funcionamento. No caso de ser provada como exequível uma metodologia para a resolução deste problema, existe uma série de outros problemas semelhantes que se podem enquadrar com esta metodologia, no sentido de controlar folgas funcionais que podem ser consumidas pelas variações inerentes ao processo produtivo.

Ao analisar mais de perto a causa do problema abordado, pode-se perguntar: “Porque não é garantida a diferença de curso?”. Poder-se-ão obter duas respostas. Em primeiro lugar, poderá assumir-se que o processo não garante a especificação e que, devido a isso, são produzidas peças fora de tolerância, o que se reflete numa redução da folga responsável pela diferença de curso, levando ao acionamento da descarga parcial quando se pretende acionar a completa. Todavia, as peças passam por um controlo de qualidade (que se assume ser capaz) o que indica que o processo é capaz de produzir peças de acordo com a especificação. Chega-se então à questão: “A especificação dada para cada peça garante a folga necessária para que a descarga parcial não seja acionada quando se aciona a descarga completa?”. A verdade é que, não sendo efetuada uma análise de tolerâncias, não se sabe a resposta a esta questão.

## 6. Definição do Problema

Para realizar uma análise do problema é necessário, primeiramente, identificar qual requisito funcional em falha. Poder-se-á dizer que esse requisito será:

- O curso de acionamento da descarga completa garante que não seja acionada a descarga parcial.
- A posição de acionamento da descarga completa terá de garantir que, ao ser efetuado o curso extra de acionamento da meia descarga, esta seja acionada.

Traduzindo isto para o conjunto mecânico em estudo, o problema resume-se à folga entre dois componentes: a mola seletora e o batente existente no copo, que será assim denominado daqui em diante. Na Figura 12 é possível ver uma representação tridimensional da válvula em corte, estando os seus componentes coloridos para uma mais fácil interpretação. A cota em estudo encontra-se ampliada, sendo que a mola seletora está representada a vermelho e o copo a amarelo. Já na Figura 16 (Cap. 8), visualiza-se uma representação em corte do pormenor da folga, estando representado o valor nominal da folga que se propõe estudar sendo que, no entanto, o valor máximo e mínimo da mesma não foram definidos. Por outras palavras, as dimensões que traduzem o requisito funcional acima não foram definidas.

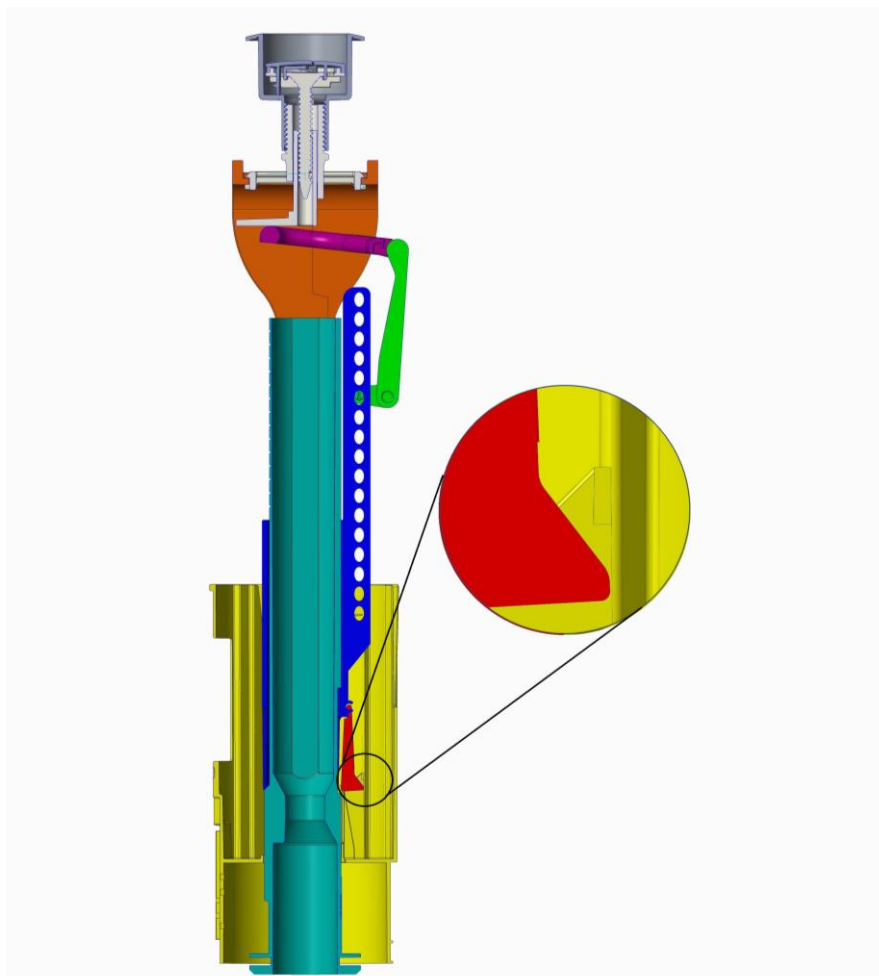


Figura 12. Representação tridimensional, em corte, do conjunto em estudo.

Para se poder atribuir uma especificação a estes valores, é necessário saber o valor da diferença entre o curso da descarga completa e o da descarga parcial. Quando é acionada a descarga completa, o botão percorre um determinado curso. Se de seguida for acionada a descarga parcial, no botão da descarga parcial, o pino realiza mais 3 mm de curso além da posição da posição de acionamento descarga completa. Neste ponto refere-se que, para todo este estudo, apenas se aborda uma regulação da válvula (posição número 5) pressupondo-se que a alteração da mesma não influencia a transmissão do movimento de acionamento. No sistema composto pelo tubo superior e mola seletora, o curso imposto pelos 3 mm de curso do botão, é de cerca de 6,19 mm para a posição número 5, pelo facto de a relação de multiplicação da alavanca ser de cerca de 1 para 2. Ora, a dimensão da folga nunca poderá ser superior a este valor, pois se tal acontecer, quando é acionada a meia descarga, o curso não será suficiente para a mola entrar em contacto com o batente, pelo que a descarga será completa. Assim sendo, arbitra-se que a folga terá um valor mínimo de 1 mm e um valor máximo 5,19 mm. O valor mínimo de 1 mm, justifica-se por não se querer a folga demasiado pequena e suscetível a variações das condições de descarga.

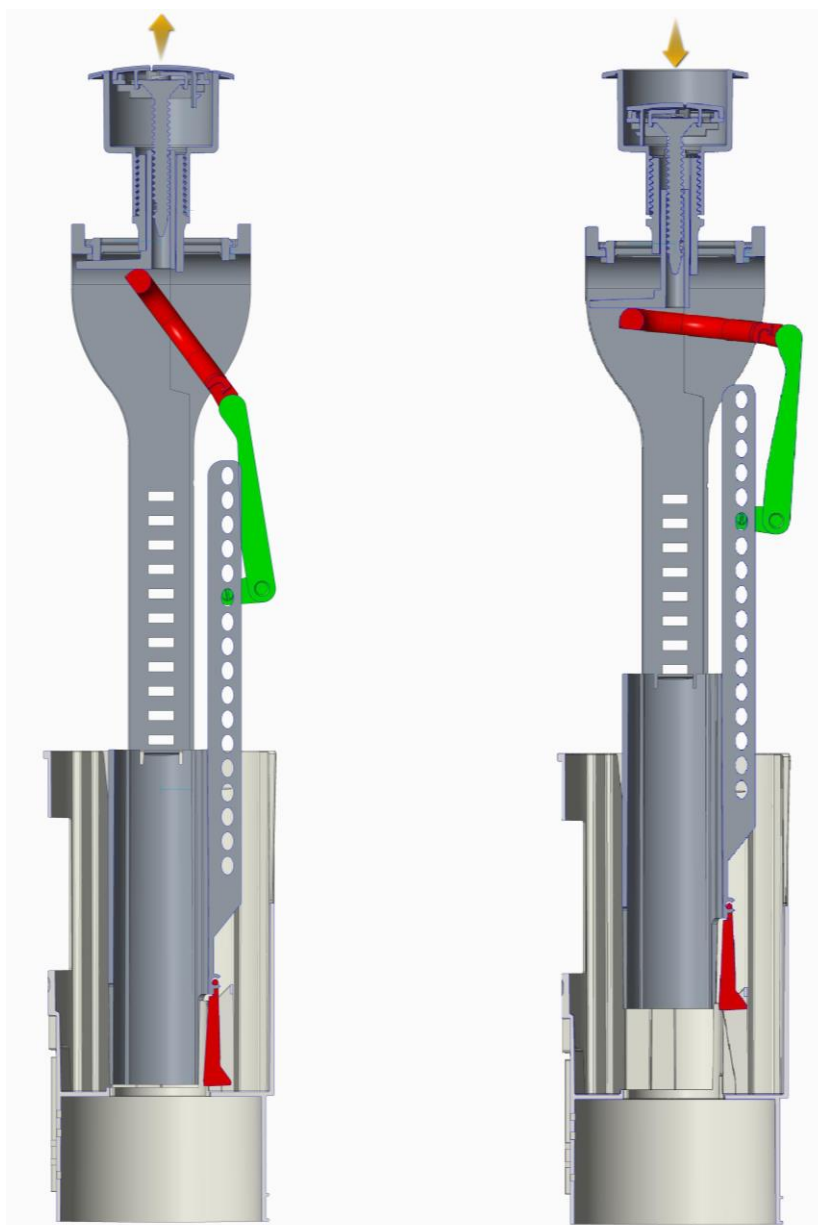


Figura 13. Representação 3D da posição de repouso (à esquerda) e posição de acionamento (à direita) do mecanismo.

Implicados no movimento de acionamento estão os componentes: copo; haste; base do casquilho roscado; casquilho roscado; caixa do botão; base do botão; capa da descarga completa; pino de comando; alavanca; extensor; tubo superior; mola seletora. Estas peças constituem o grupo a analisar como ponto de partida, uma vez que são aquelas que transmitem o movimento desde o botão até à mola seletora, responsável por diferenciar a descarga completa da descarga parcial, como já referido anteriormente.

Assim, a metodologia proposta assentará em, primeiramente, realizar ensaios de caracterização metrológica, que servirão para determinar qual o estado do processo do ponto de vista estatístico, o que servirá de apoio à análise de tolerâncias efetuada mais adiante, no capítulo 8.

Numa última nota, arbitra-se ainda que, no seguimento do controlo estatístico realizado adiante, o processo relativo às cotas afetas a este requisito funcional terá de apresentar, no mínimo um valor de  $C_p = 2$  e um valor de  $C_{pk} = 1,5$ , sendo que esses valores

deveriam acompanhar o desenho de definição 2D, onde as contas seriam identificadas como cotas sujeitas a controlo estatístico. Essas cotas encontram-se representadas no conjunto no anexo D2.

## 7. Ensaaios de caracterização metrológica

### 7.1 Recolha de dados

Na análise do problema definido anteriormente, poderá ser interessante estudar a aplicação de métodos de toleranciamento estatístico, pelo que é necessário recolher dados relativos à variabilidade dimensional das peças. Por uma questão prática, a abordagem será utilizar inferência estatística, recolhendo um determinado número de amostras e assumindo que essas representam toda a população, pelo que se poderá retirar conclusões gerais tendo por base um pequeno grupo (espaço amostral), desde que haja conhecimento do erro em que se incorre. Assim, esta prática é interessante não só neste estudo, mas também para utilizar futuramente na OLI para ganhar um melhor conhecimento acerca de determinado problema onde seja aplicável, uma vez que, como já dito anteriormente, nesta organização já são efetuados controlos de três em três horas para uma peça aleatória retirada da linha de produção, sendo registados os valores das cotas mensuradas, pelo que se poderia utilizar estes dados como uma amostragem sistemática, traduzindo a variação ao longo do tempo. Essa abordagem iria providenciar um conhecimento quantificável do processo que poderia vir a ser útil, uma vez que se sabe pelo que foi estudado no capítulo 3, que as dimensões das peças vão sofrer variações ao longo do tempo, fruto de diversos fatores.

Para este estudo, obtêm-se então as peças de 38 unidades da válvula URAL provenientes da Rússia, produzidas durante o espaço de um de cerca de um mês (uma amostra por dia), à saída da linha de produção e sem nunca terem sido montadas num conjunto, sendo esse o espaço amostral utilizado para representar a população de toda a produção. Pelo facto de essas amostras terem sido produzidas na Rússia e transportadas para Portugal, pressupõe-se pelo que foi estudado no capítulo 3, que já terminaram o seu período de contração (16 horas). Ainda assim, amostras recolhidas ao longo de um intervalo de tempo desta duração não refletem todos os fatores que influenciam o processo ao longo de um ano, ou de todo o ciclo de vida da ferramenta, por isso considera-se aceitável utilizar este espaço amostral como exemplo de toda a população, apenas como prova de conceito.

Como referido na secção 3.1 e previsto na norma DIN 16901, em componentes produzidos pelo processo de moldação por injeção esperam-se variações dimensionais devidas a diversos fatores, de entre os quais, a contração característica provocada pelo arrefecimento do material, que se reflete com maior intensidade nas maiores dimensões. De forma a ter em conta este fator, a estratégia passa por efetuar ensaios de caracterização metrológica para cotas de vários comprimentos e caracterizar a sua variabilidade em função do material. Uma vez que a norma prevê uma tabela com esta categorização (anexo A), tenta-se obter dados de variabilidade para as gamas de comprimento já definidas na norma. Neste ponto alerta-se para o facto de, como foi visto anteriormente, a variabilidade se dever também à dificuldade em reproduzir determinada geometria pelo que os dados recolhidos não podem ser tomados como corretos para todas as geometrias produzidas futuramente, e isto ainda porque se estuda a variabilidade de apenas uma cota como exemplo da variabilidade de cada categoria. Como qualquer ferramenta estatística, se houver interesse em torná-la mais robusta é necessário recolher mais dados (utilizando, por exemplo, os registos existentes relativos ao controlo metrológico na base de dados).

O instrumento de medida disponível na OLI para este estudo é o paquímetro, sendo esse aquele que é também utilizado para efetuar o controlo dimensional na inspeção para controlo de qualidade. Por forma a despistar possíveis erros aleatórios associados ao procedimento da medição e ao instrumento de medida, são efetuados para cada dimensão três ensaios, tomando-se como o valor mais provável a média aritmética dos três.

Numa primeira fase, efetuam-se ensaios numa perspetiva de verificação relativamente aos limites especificados além da norma ou de acordo com esta, pois muitas das cotas não são controladas, já que esse controlo é feito apenas em apenas algumas cotas indicadores da variação, normalmente as mais longas ou aquelas cuja variação é considerada mais relevante para a função da peça. Ainda assim, estes ensaios servem também para obter valores do desvio padrão de cada dimensão, para na secção seguinte se elaborarem as tabelas com a informação relativa a esses desvios para cada gama de dimensão. Para cada cota selecionada, são realizadas três medições em cada peça. De seguida é calculada a média aritmética dessas três medições, que será considerado como o valor real, esperando-se que o valor real esteja entre a maior e a menor medição. As tabelas com os valores médios obtidos para cada amostra encontram-se em anexo (anexo B), sendo que esses valores são convertidos em gráficos como o da Figura 14, analisado de seguida. Também esses gráficos se encontram em anexo (anexo C) para todas as cotas submetidas a caracterização metrológica neste estudo.

Os gráficos ilustrativos dos dados recolhidos apresentam-se então, num gráfico de dispersão para cada cota controlada, onde se observa o valor médio da cota medida, calculado com base na média aritmética dos valores considerados como reais (média dos três ensaios) para cada amostra. Em praticamente todas as medições, o desvio à média é da ordem de grandeza da incerteza associada ao instrumento de medição (no caso do paquímetro digital  $\pm 0.01$  mm), pelo que se toma como erro relativo o valor do maior desvio à média, e descartam-se medições com erro relativo superior a 5%. Toma-se como exemplo para interpretação, apenas o gráfico para a cota controlada na alavanca (Figura 14).

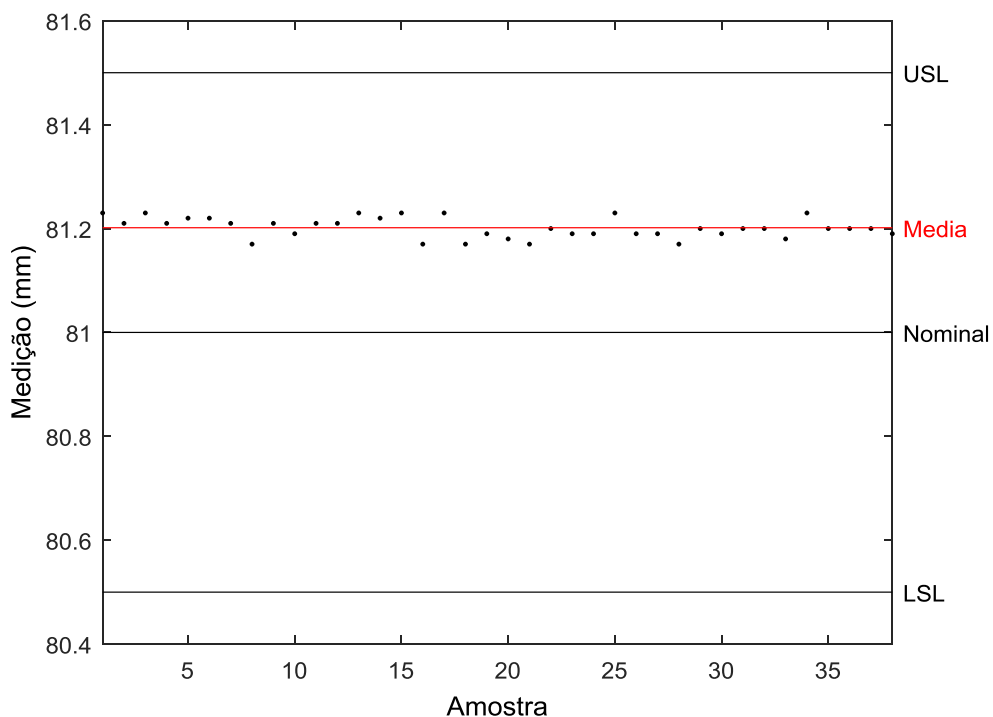


Figura 14. Gráfico de dispersão das medições recolhidas para uma cota da Alavanca.



Neste gráfico, é possível visualizar a dispersão de pontos obtida (pontos a preto), tendo em conta o eixo das abcissas onde se faz a numeração das amostras recolhidas ao longo do espaço de tempo já referido, e no eixo das ordenadas, o valor obtido para a medição da cota efetuada, em mm. Já as linhas horizontais a preto representam o limite inferior especificado (LSL), o valor nominal e o limite superior especificado (USL), e a linha a vermelho representa o valor médio da cota controlada para o espaço amostral recolhido, neste caso 81,2 mm.

Analisando os dados conclui-se que, para as cotas mensuradas, as peças se encontram dentro da especificação atribuída, embora no geral a média destas se encontre desviada do valor nominal, o que remete novamente para a questão: “A especificação atribuída garante o cumprimento do requisito funcional?”. Esta pergunta é relevante pois, ainda que as dimensões das peças estejam estabilizadas dentro da gama de tolerâncias, não se sabe o que aconteceria se o processo estabilizasse noutra zona. De seguida procede-se a uma metodologia de controlo estatístico do processo que servirá de apoio à análise de tolerâncias efetuada adiante.

## 7.2 Tratamento estatístico dos dados

A primeira abordagem efetuada permite retirar algumas conclusões, nomeadamente acerca da estabilização da média do processo e da amplitude máxima de variação medida. No entanto, não se explora totalmente o potencial dos dados, uma vez que, como foi visto na secção 4.6, é possível através dos dados recolhidos, realizar uma análise de inferência estatística que permita estudar os índices de capacidade do processo, com intervalos de confiança quantificáveis, sendo assim possível prever a taxa de não conformes.

O desvio padrão para cada categoria (cada valor dado pela medição de apenas uma cota), calculado pela equação 4.6, apresenta-se num gráfico de barras na Figura 15 para cada material. Observa-se que a evolução desse desvio em função do comprimento ocorre de acordo com o esperado (existe uma correlação direta entre o aumento da dimensão e o aumento da variabilidade dimensional), sendo que o caso do ABS é aquele onde isso é visível de forma mais explícita. Já as cotas mensuradas nas peças de PP e POM não apresentam uma evolução onde se possa afirmar o mesmo de forma tão linear, o que se deverá ao facto de se utilizar apenas uma cota como indicador de variabilidade para cada categoria, ou até à própria geometria. Em todo o caso, de um modo geral é possível afirmar que o desvio padrão apresenta uma tendência para aumentar com o comprimento nominal da cota e serão estes os valores considerados para cada categoria daqui em diante. Observa-se ainda que, em nenhum dos materiais o desvio é consistentemente maior ou menor do que nos restantes, sendo que a ordem de grandeza será semelhante, algo que não seria de esperar por aquilo que é apresentado na norma, onde diferentes materiais apresentam diferentes tolerâncias, fruto da dificuldade em processar alguns comparativamente aos outros.

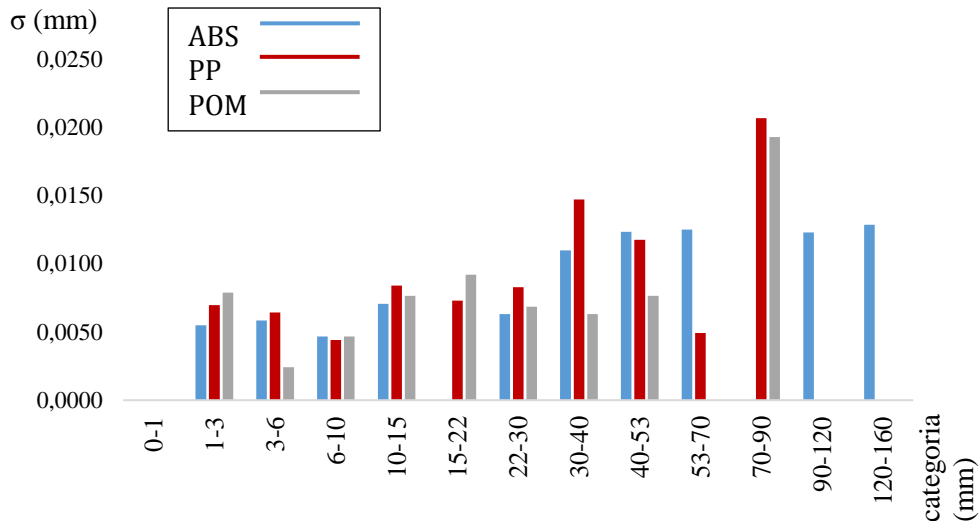


Figura 15. Evolução do desvio padrão para os três materiais em estudo.

Por uma questão prática, não se faz distinção entre cotas dependentes apenas da gravação no molde e cotas dependentes do movimento do mesmo, pois não haveria neste conjunto de peças cotas mensuráveis para preencher as tabelas, utilizando como instrumento o paquímetro. Por fim, apresenta-se a tabela obtida, que servirá de apoio à metodologia que se irá estudar no capítulo seguinte Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios para desvio padrão, para cada material e cada categoria dimensional

ABS [mm]							
Dim. Nom.	0-1	1-3	3-6	6-10	10-15	15-22	22-30
D. Padrão (σ)	(-)	0.0055	0.0058	0.0047	0.0071	(-)	0.0063
Dim. Nom.	30-40	40-53	53-70	70-90	90-120	120-160	160-200
D. Padrão (σ)	0.0110	0.0123	0.0125	(-)	0.0123	0.0129	(-)
PP [mm]							
Dim. Nom.	0-1	1-3	3-6	6-10	10-15	15-22	22-30
D. Padrão (σ)	(-)	0.0070	0.0064	0.0044	0.0084	0.0073	0.0083
Dim. Nom.	30-40	40-53	53-70	70-90	90-120	120-160	160-200
D. Padrão (σ)	0.0147	0.0118	0.0049	0.0207	(-)	(-)	(-)
POM [mm]							
Dim. Nom.	0-1	1-3	3-6	6-10	10-15	15-22	22-30
D. Padrão (σ)	(-)	0.0079	0.0024	0.0047	0.0077	0.0092	0.0069
Dim. Nom.	30-40	40-53	53-70	70-90	90-120	120-160	160-200
D. Padrão (σ)	0.0063	0.0077	(-)	0.0193	(-)	(-)	(-)

Por fim, calcula-se ainda o desvio padrão médio utilizando todos os valores, pois esse será aquele assumido como a variabilidade inerente à folga.

$$\sigma_{\text{global}} = 8,93 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Com estes dados será possível partir para a implementação de ações corretivas em fase de projeto.

## 8. Definição de ações corretivas a implementar em fase de projeto

No seguimento das questões levantadas nos capítulos anteriores é necessário, numa fase inicial do projeto, determinar quais as gamas de toleranciamento que garantem a funcionalidade do conjunto para cumprir com os vários requisitos identificados. Para tal, efetua-se uma análise de tolerâncias e da influência da sua propagação na cadeia de cotas, de acordo com os métodos abordados no capítulo 4. Todos os procedimentos adotados neste capítulo são passíveis de ser utilizados numa fase de desenvolvimento inicial, ou seja, na fase 1 do fluxo de projeto OLI.

Essa análise inicia-se com a definição de um diagrama da cadeia de cotas, formando um circuito fechado. Em grande parte dos casos, o requisito funcional a analisar irá resumir-se a uma folga entre dois componentes, tal como acontece neste estudo (Figura 16).

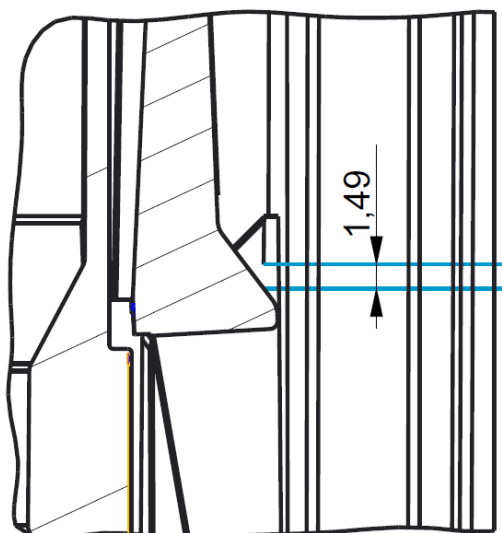


Figura 16. Representação em corte da folga analisada e seu respetivo valor nominal.

O valor nominal medido para esta folga no modelo 3D no software de modelação da OLI (PTC Creo 3.0), foi de 1,49 mm.

Posto isto, elaborou-se um diagrama simplificado dessa cadeia (Figura 17), não estando esse à escala, para facilitar a sua visualização. Para as cotas utilizadas para construir o diagrama não existe toleranciamento dado pelo projetista, pelo que todas as cotas tomam como gama de tolerância aquela atribuída em função da norma DIN 16901, à exceção da cota N da Tabela 5, que apresenta uma especificação mais apertada do que a da norma. De realçar que o vetor da folga é o único que não tem sentido, por poder assumir valores positivos ou negativos, representando interferência ou folga. Ainda assim, é importante perceber que o valor da cota parte do copo para a mola seletora, pelo que terá de ser negativo para haver folga, e no caso de ser positivo representará interferência.

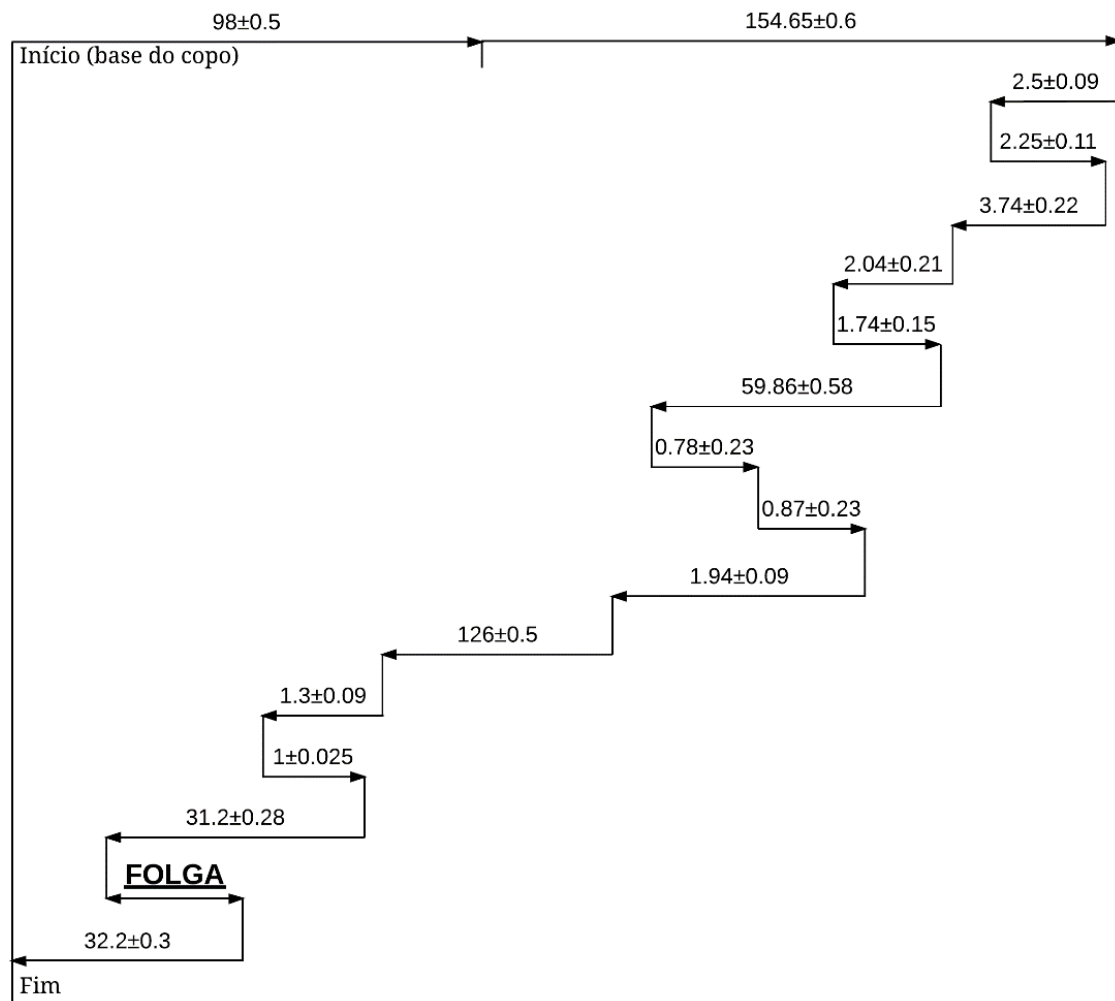


Figura 17. Diagrama representativo da cadeia de cotas (em mm) para o problema em estudo.

Uma vez elaborado o diagrama, a primeira ação a tomar será verificar se este está bem construído. Para tal, organizam-se as cotas e respetivas tolerâncias na Tabela 5, numerando-as para mais facilmente as referenciar adiante. A partir desta tabela, é possível calcular o somatório das cotas, obtendo o valor da folga ( $d_g$ ). O valor nominal da folga, calculado com base na equação 4.1 e nas cotas utilizadas no diagrama, neste caso ronda os -1,49 mm. Ao aplicar a equação o sentido deste valor é negativo, o que significa pela construção do diagrama e por aquilo que é possível visualizar na representação em CAD, que a folga assume este valor. Além disso, este valor é igual àquele medido no software, pelo que se confirma que o diagrama estará bem elaborado.

Tabela 5. Somatório das cotas e respetivas tolerâncias partindo do diagrama.

Cota	Cadeia de Cotas	Nominal (mm)	LSL (mm)	USL (mm)	%
A	copo ↑	98,00	0,5	-0,5	12
B	haste ↑	154,65	0,6	-0,6	14
C	haste ↓	2,50	0,09	-0,09	2
D	alavanca ↑	2,25	0,11	-0,11	3
E	alavanca ↓	3,74	0,22	-0,22	5
F	alavanca ↓	2,04	0,21	-0,21	5
G	extensor ↑	1,74	0,15	-0,15	4
H	extensor ↓	59,86	0,58	-0,58	14
I	extensor ↑	0,78	0,23	-0,23	5
J	extensor ↑	0,87	0,23	-0,23	5
K	tubo superior ↓	1,94	0,09	-0,09	2
L	tubo superior ↓	126,00	0,5	-0,5	12
M	tubo superior ↓	1,30	0,09	-0,09	2
N	mola seletora ↑	1,00	0,025	-0,025	1
O	mola seletora ↓	31,20	0,28	-0,28	7
P	folga	(-)	(-)	(-)	0
Q	copo ↓	32,20	0,3	-0,3	7
Somatório das tolerâncias			4,205	-4,205	100
Valor nominal da folga (mm)		-1,49			

Partindo do valor nominal e do somatório das tolerâncias – que para este requisito resulta num comprimento total da gama de tolerâncias de  $4,205 + 4,205 \text{ mm} = 8,410 \text{ mm}$  – é possível passar a uma análise como a descrita no capítulo 4, iniciando-se então uma análise da propagação de tolerâncias pelo método do pior caso.

### 8.1 Análise de Tolerâncias pelo Método do Pior Caso

De acordo com o procedimento anteriormente estudado, é possível calcular os limites superior e inferior para o valor da folga definida como requisito funcional. Somando os valores das tolerâncias apresentados na Tabela 5, obtém-se um resultado final para a cota de  $-1,49 \pm 4,205 \text{ mm}$ . Isto resulta nos seguintes valores limite para a folga (pelo pior caso):

$$\begin{array}{r} -1,49 \text{ mm} \\ -4,205 \text{ mm} \\ \hline \text{Valor máximo da folga} = -5,695 \text{ mm} \end{array}$$

e também,

$$\begin{array}{r} -1,49 \text{ mm} \\ +4,205 \text{ mm} \\ \hline \text{Valor mínimo da folga} = 2,715 \text{ mm} \end{array}$$

Começando pelo valor máximo para a folga, este representa que a folga máxima será de 5,695 mm, ou seja, será esse o valor da cota representada na Figura 16. No caso do valor mínimo, obtém-se o resultado de 2,715 mm, o que significa que existe a possibilidade de existir uma interferência entre a mola seletora e o copo. Fisicamente, isto significa que com as tolerâncias especificadas (neste caso de acordo com a norma) existe a possibilidade de produzir conjuntos onde, ao acionar a descarga completa, a mola seletora entre em contacto com o batente do copo e acione a descarga parcial, numa gama de 2,715 mm dentro daquela especificada. Além disso, facilmente se constata que, se for feita uma análise considerando os piores casos, nunca será possível garantir que o valor da folga irá estabilizar dentro dos valores especificados uma vez que a gama total de valores que ela pode assumir será de 8,410 mm e a gama máxima almejada é de 4,21 mm (diferença entre os valores máximo e mínimo que a folga poderá assumir como requisito no capítulo 6, na posição de descarga completa acionada).

Perante este problema, existem duas abordagens de resolução possíveis: por um lado podem-se alterar os cursos de acionamento, de forma a aumentar a diferença de curso do sistema entre a posição de acionamento da descarga completa e a posição de acionamento da descarga parcial; outra solução seria fazer pequenas alterações dimensionais ao nível das cotas nominais para algumas peças e/ou ao nível das tolerâncias. A primeira abordagem, é impraticável uma vez que alterar o curso iria implicar um elevado número de alterações, nomeadamente nas dimensões da alavanca e tudo o que delas depende, bem como na força exercida pelo utilizador ao acionar a válvula quando carrega no botão, sendo essas características um requisito do produto.

Assim sendo, a solução mais viável e prática será partir para algumas alterações dimensionais sendo, nesta fase, necessário levar a cabo duas ações corretivas:

- Centrar o valor nominal da folga relativamente aos limites pretendidos pelo requisito funcional estabelecido na definição do problema.
- Reduzir a gama de tolerâncias para que as dimensões máxima e mínima da folga correspondam aos limites pretendidos de acordo com o requisito funcional definido no capítulo 6.

Em primeiro lugar, deverá ser centrado o valor nominal. Se tal não for possível por restrições geométricas impostas por outros requisitos funcionais, a única solução será manter o valor nominal existente e diminuir o toleranciamento, para se poder garantir que os valores da dimensão da folga respeitam o requisito funcional. De qualquer modo, na maioria dos casos isso é possível, tal como acontece neste conjunto, bastando alterar a altura do batente em relação à base do copo (cota Q), pois é uma cota que não interfere com outros componentes. Assim, calcula-se o novo valor nominal da folga, partindo do batente da mola seletora no copo (geometria cuja dimensão nominal irá alterar), da seguinte forma:

Batente	0 mm
Requisito folga mínima	+ 1 mm
Requisito para gama valores da folga (divido por dois)	+ $4,21/2 = 2,105$ mm
Total	3,105 mm

Será este o novo valor nominal da folga (não sendo aqui negativo por não ser relevante a definição do sentido neste ponto) que difere do valor inicial de 1,49 mm em  $3,105 - 1,49 = 1,615$  mm, ou seja, esta diferença será adicionada à cota nominal número 17, resultando então:

Cota Q inicial	32,2 mm
Diferença para o novo valor	+ 1,615 mm
Novo valor nominal da cota Q	33,815 mm

Na OLI, uma vez que se trabalha com plásticos, não é boa prática de projeto definir valores nominais de cota com uma precisão à centésima de milímetro, pelo que se define o novo valor nominal da cota Q como sendo 33,82 mm. Estando definido o valor nominal desta dimensão, a soma global das tolerâncias seria mais ou menos a metade do requisito calculado acima ( $4,21 \text{ mm} \div 2 = 2,105 \text{ mm}$ ), mas arredonda-se esse valor para 2,10 mm. Se estes valores forem introduzidos no diagrama obtém-se agora:

Tabela 6. Correção do diagrama da cadeia de cotas considerando o pior caso.

Cota	Cadeia de Cotas (mm)	Nominal (mm)	LSL (mm)	USL (mm)	%
A	copo ↑	98,00	0,25	-0,25	12
B	haste ↑	154,65	0,29	-0,30	14
C	haste ↓	2,50	0,04	-0,04	2
D	alavanca ↑	2,25	0,06	-0,06	3
E	alavanca ↓	3,74	0,11	-0,11	5
F	alavanca ↓	2,04	0,11	-0,11	5
G	extensor ↑	1,74	0,08	-0,08	4
H	extensor ↓	59,86	0,29	-0,29	14
I	extensor ↑	0,78	0,11	-0,11	5
J	extensor ↑	0,87	0,11	-0,11	5
K	tubo superior ↓	1,94	0,04	-0,04	2
L	tubo superior ↓	126,00	0,25	-0,25	12
M	tubo superior ↓	1,30	0,04	-0,04	2
N	mola seletora ↑	1,00	0,02	-0,02	1
O	mola seletora ↓	31,20	0,15	-0,15	7
P	folga	(-)	(-)	(-)	(-)
Q	copo ↓	33,82	0,15	-0,15	7
Somatório das tolerâncias			2,10	-2,10	100
Valor nominal da folga (mm)		-3,11			

Tendo em conta o novo valor da folga, esta poderá assumir os valores de  $-3,11 \pm 2,10$  mm, ou seja, poderá variar entre -1,01 mm e -5,21 mm, pelo que cumpre com o requisito funcional estabelecido na definição do problema no capítulo 6. Note-se que, especificados os somatórios das tolerâncias, é necessário agora redistribuir esse valor pelas cotas do circuito, pois os antigos valores terão de ser abandonados. Tal deve ser feito tendo por base o conhecimento do projetista, que realoca as tolerâncias de acordo com a dificuldade em produzir determinada geometria e nas dimensões das cotas que está a especificar, pois poder-se-ão manter as tolerâncias atribuídas para cotas mais difíceis de controlar e diminuir em cotas onde existe mais margem para isso. Por exemplo, poderá fazer mais sentido retirar um valor de 1 mm do somatório das tolerâncias, dividindo esse valor por 10 cotas de  $1 \pm 0,5$  mm, retirando 0,1mm da tolerância de cada uma, do que tentar retirar de 1mm da tolerância de uma cota  $150 \pm 2$  mm. Neste estudo, opta-se por uma abordagem

teórica que não depende de tantos fatores, onde se redistribui o somatório das tolerâncias por todas as cotas tendo em conta o peso percentual das suas tolerâncias relativamente ao valor do somatório inicial. Assim, os valores das tolerâncias para cada cota presentes na Tabela 6 são já os valores do somatório pretendido multiplicado pelo peso percentual da cota, como por exemplo na cota A: a tolerância de  $\pm 0,25$  mm é obtida efetuando a operação  $2,10 \times 0,12 = 0,25$  mm. A análise e redistribuição das tolerâncias pela cadeia de cotas pelo método do pior caso estaria concluída neste ponto.

No entanto, após especificar as dimensões é importante verificar se elas são aplicáveis. Tal pode ser feito com base em experiência passada, utilizando valores definidos mínimos assumidos como o limite do processo. Isto pode levar a que, por vezes, se alargue a gama de tolerâncias utilizadas numa cota por se assumir um limite, quando na realidade o processo pode ser capaz de responder a essa exigência. Neste caso, a menor tolerância é alocada à cota N, com um valor de  $1 \pm 0,02$  mm. Com os meios atualmente existentes para caracterização metrológica, este valor não é mensurável, pois o meio de medição seria o paquímetro com um erro instrumental da ordem de metade da dimensão da tolerância, pelo que se aumenta para  $1 \pm 0,04$  mm, o que continua a ser um valor reduzido tendo em conta o meio de medição, mas que é realizado para exemplificar a facilidade com que se pode alterar a alocação de tolerâncias utilizando esta ferramenta. Para compensar esta alteração, basta escolher uma cota com o mesmo sentido e retirar da sua tolerância aquilo que se aumentou na cota N, passando a cota B para  $154,65 \pm 0,27$  mm ao invés de  $154,65 \pm 0,29$  mm. Atualizam-se também os pesos percentuais das tolerâncias destas duas cotas relativamente ao somatório da cadeia.

Ainda assim, é necessário realizar um exercício para todas as cotas, para verificar se o processo será capaz de corresponder às exigências, mas como se refere no capítulo 4, a ocorrência do pior caso para todas as cotas da cadeia será sempre muito improvável de acontecer, pelo que é relevante recorrer a uma análise pelo método RSS, onde se pode alargar a gama de tolerâncias para cada cota, de forma a obter um menor número de não conformes e uma menor exigência ao nível da estabilização do valor médio do processo.

## 8.2 Análise pelo Método RSS

Pela discussão realizada no capítulo 4, percebe-se que será interessante num conjunto onde se analisa uma cadeia de cotas afeta a vários componentes (neste caso 17 cotas afetas a 6 componentes diferentes), ir além de uma simples análise de pior caso, pelos motivos já discutidos.

Para este procedimento, tomando o papel do projetista, o autor define que pretende que todos os componentes sejam produzidos com um  $C_p$  mínimo de 2 e um  $C_{pk}$  de 1,5 na definição do problema do capítulo 6. Esta metodologia inicia-se partindo de uma tabela semelhante àquela utilizada para a análise de pior caso, onde se colocam as cotas já redimensionadas utilizando esse modelo. Utilizando as tolerâncias atribuídas para essas cotas, aplica-se a equação do método RSS (equação 4.3), e obtêm-se os limites bilaterais que representam a gama de valores da folga ( $3,11 \pm 2,1$  mm) que será mais provavelmente consumida pelo processo:

$$T_y = \pm 1,27 \text{ mm}$$

Pelo que a folga fica definida pelo método RSS como:



$$\text{Folga} = 3,11 \pm 1,27 \text{ mm}$$

A probabilidade de o processo ocorrer dentro desses limites será especificada pelo projetista, ou seja, se se determinou que esses limites deverão corresponder a  $\pm 6\sigma$  quando o processo está centrado ( $C_p = 2$ ) então, é possível, com base no historial do desvio padrão obtido por controlo estatístico, calcular a taxa de não conformes e assim verificar se os limites do processo previstos por este método correspondem à exigência ou, por outras palavras, se o número de não conformes irá ser suficientemente reduzido para não provocar impacto no aumento de desperdício e consequente aumento do custo da peça.

Uma vez que este método pressupõe que a média do processo irá estar centrada com o valor nominal, calcula-se a probabilidade de o valor da folga ser superior ao limite superior e multiplica-se por dois, pois a probabilidade desse valor ser menor que o limite inferior será igual. Matematicamente esta probabilidade será modelada por uma distribuição normal, onde o evento Z se define como: "A probabilidade da dimensão real da folga ser superior ao limite superior especificado".

O limite superior especificado terá o valor de:

$$\begin{array}{r} 3,11 \text{ mm} \\ + \quad 1,27 \text{ mm} \\ \hline = \quad 4,38 \text{ mm} \end{array}$$

O valor médio da distribuição normal de probabilidade x será então  $\mu =$  valor nominal = 3,11 mm, e o desvio padrão considerado será o valor médio global, uma vez que a folga é afetada por todas as cotas:  $\sigma_{\text{global}} = 8,93 \times 10^{-3}$  mm. Efetuando os cálculos, a probabilidade obtida será, pela equação 4.7:

$$P(Z) = P(X > 4,38 \text{ mm}) = 0 \text{ ppm}$$

O que multiplicado por dois continua a ser 0 ppm, ou seja, a probabilidade de a folga apresentar valores fora da especificação atribuída após redimensionamento pelo método RSS é 0 ppm, o que resultaria numa taxa de não conformes de 0 ppm, relativamente a este requisito. Pode então afirmar-se que o processo é capaz de produzir de acordo com a exigência, incorrendo-se num risco que, pela teoria, deverá continuar a produzir produtos que funcionam no seu conjunto. Caso se observasse uma taxa de não conformes superior àquela exigida (arbitrou-se 3,4 ppm), então não se deveria utilizar o RSS, pois este método serve para alargar a gama de toleranciamento nas peças, reduzindo a folga, o que seria desaconselhável.

Assim, o método RSS baseia-se na teoria da probabilidade para assumir que a diferença entre a folga calculada e a folga calculada pelo método do pior caso, poderá ser redistribuída por todas as tolerâncias da cadeia de cotas, sem afetar o funcionamento do conjunto. Essa diferença será:

Folga WC	3,11 ± 2,10 mm
Tolerância RSS	3,11 ± 1,27 mm
Diferença Redistribuível	± 0,83 mm

Pelo que o somatório das tolerâncias pelo RSS será:

Folga WC  $\pm 2,10$  mmTolerância RSS  $\pm 0,83$  mmDiferença Redistribuível  $\pm 2,93$  mm

Mais uma vez, a redistribuição desta dimensão pelas tolerâncias das cotas da cadeia será feita com base no peso percentual das mesmas, pelos motivos supra referidos. Os resultados apresentam-se na Tabela 7, já com os respetivos arredondamentos às centésimas de milímetro. O somatório neste caso corresponde a  $\pm 2,92$ mm, pois 0,01 mm são perdidos em arredondamentos. Este redimensionamento representa um aumento de 40% das tolerâncias relativamente ao método do pior caso, sem afetar a funcionalidade do produto, pelo que se estudou.

Tabela 7. Cadeia de cotas redimensionadas pelo método RSS.

Cota	Cadeia de Cotas (mm)	Nominal (mm)	LSL (mm)	USL (mm)	$\sigma$ (mm)	Cp
A	copo (ABS) ↑	98,00	0,35	-0,35	0,0123	9
B	haste (ABS) ↑	154,65	0,38	-0,38	0,0129	10
C	haste (ABS) ↓	2,50	0,06	-0,06	0,0055	4
D	alavanca (POM) ↑	2,25	0,09	-0,09	0,0079	4
E	alavanca (POM) ↓	3,74	0,15	-0,15	0,0024	21
F	alavanca (POM) ↓	2,04	0,15	-0,15	0,0079	6
G	extensor (PP) ↑	1,74	0,12	-0,12	0,0070	6
H	extensor (PP) ↓	59,86	0,41	-0,41	0,0049	28
I	extensor (PP) ↑	0,78	0,15	-0,15	0,0049	10
J	extensor (PP) ↑	0,87	0,15	-0,15	0,0049	10
K	tubo superior (ABS) ↓	1,94	0,06	-0,06	0,0055	4
L	tubo superior (ABS) ↓	126,00	0,35	-0,35	0,0129	9
M	tubo superior (ABS) ↓	1,30	0,06	-0,06	0,0055	4
N	mola seletora (POM) ↑	1,00	0,06	-0,06	0,0079	3
O	mola seletora (POM) ↓	31,20	0,21	-0,21	0,0063	11
P	folga	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Q	copo (ABS) ↓	33,82	0,21	-0,21	0,0110	6
Somatório das tolerâncias			2,92	-2,92		
Valor nominal da folga (mm)			3,11			

Contudo, é necessário lembrar que cotas que fazem uso deste método devem ser sempre controladas estatisticamente, pelo que se preveem na última coluna da tabela quais os coeficientes de Cp prováveis de obter considerando o historial do processo produtivo da OLI (neste caso dado pelas tabelas criadas com as medições deste estudo). Caso estes coeficientes fossem abaixo do Cp pretendido de 2, as tolerâncias poderiam ser alocadas manualmente de forma a obter cotas produtíveis. No entanto, estes valores são apenas preditivos, pelo que as cotas utilizadas na cadeia deverão ser controladas estatisticamente, e o seu valor de Cp e Cpk constantemente avaliados, aquando em produção. Na secção seguinte, demonstra-se como seria feito esse controlo para uma cota.

### 8.2.2 Controlo Estatístico do Processo

As dimensões utilizadas para construir o diagrama da cadeia de cotas em estudo, não são mensuráveis utilizando paquímetro, podendo apenas ser medidas através de uma máquina de medição por coordenadas do tipo CMM (do inglês: *Coordinate Measuring Machine*), ou através de tomografia e posterior análise em *software* de inspeção próprio para o efeito. Assim, utiliza-se como exemplo a cota N, por ser aquela que apresenta menor  $C_p$ , e apresenta por isso, maior risco de não apresentar um  $C_{pk}$  suficiente. Será medido o diâmetro, que é posteriormente dividido por dois. O valor médio e o desvio padrão são calculados através das equações já utilizadas.

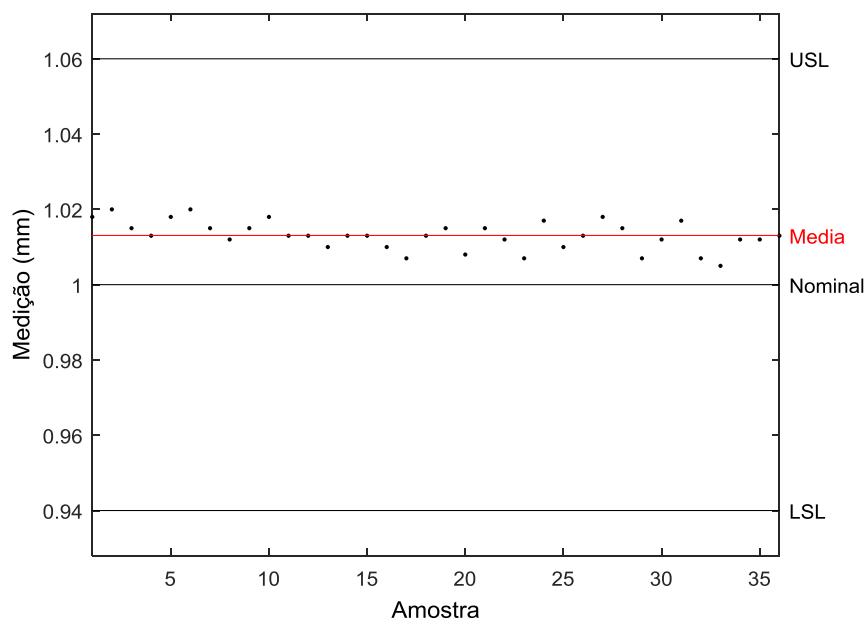


Figura 18. Gráfico de dispersão das medições recolhidas para a cota N.

Relembra-se que se assume que as amostras seguem uma distribuição normal, o que foi verificado matematicamente com base no teste de normalidade de Kolmogorov para cada distribuição obtida. Os resultados relativos ao tratamento estatístico dos dados recolhidos para a cota N encontram-se no gráfico da Figura 19.

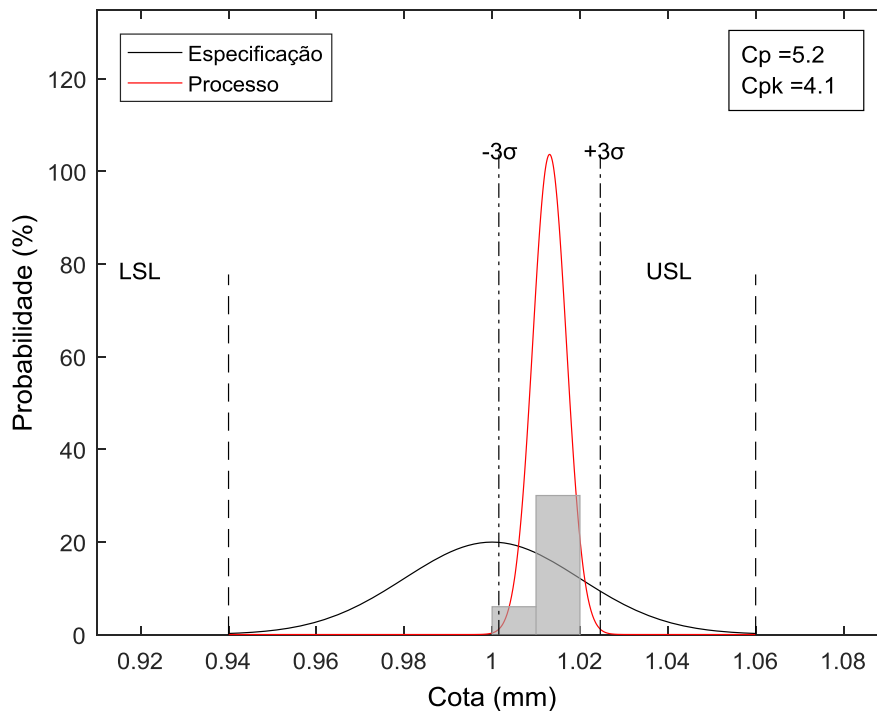


Figura 19. Distribuição estatística do processo relativamente aos limites nominais.

Neste gráfico é possível visualizar, a preto tracejado, as linhas verticais associadas ao LSL e ao USL. A linha cheia a preto, representa a distribuição normal teórica, que seria necessária para que o limite inferior especificado correspondesse a  $-3\sigma$  e o limite superior especificado a  $+3\sigma$ , no caso de a média do processo estar centrada no valor nominal, servindo esta curva como referência visual. As barras cinzentas dão o histograma para os dados recolhidos, representando cada uma a probabilidade (%) de obter o valor da classe visível no eixo das abcissas (em mm). Calcula-se ainda a função de distribuição normal de probabilidade para o processo produtivo da alavanca (assumindo que a cota controlada reflete de forma global a variabilidade desse processo), representada pela curva a vermelho, e o posicionamento de  $-3\sigma$  (limite inferior) e  $+3\sigma$  (limite superior) relativos à média do processo.

É visível, também, sobre o gráfico uma anotação onde se apresentam os valores dos coeficientes de capacidade calculados pelas equações presentes no capítulo 4.6, sendo que neste caso se assumem os valores de 5.2 para o Cp e 4.1 para o Cpk. Isto significa que, para esta cota, o processo é capaz, tanto relativamente à variabilidade máxima que pode apresentar (quando se pretende que este ocorra entre LSL e USL correspondentes a  $\pm 6\sigma$ ), bem como em relação ao desvio da sua média ao valor nominal, tendo em conta os valores requeridos de  $Cp=2$  e  $Cpk=1,5$ .

Interpretando os dados de uma forma global, os valores elevados de Cp e Cpk ditam que, para o período em que as amostras foram recolhidas, e para os limites especificados pelo método RSS, a cota controlada sairá da especificação em, virtualmente, zero partes por milhão. Além disso, é possível afirmar que se poderia apertar ainda mais o toleranciamento na maioria das cotas, algo que, neste caso, não traria vantagens, ou reduzir a precisão do processo, algo que também não faria sentido. Contudo, é importante ter em conta os pressupostos em que se baseia esta análise, sendo um deles o facto de uma amostra recolhida durante um curto período de tempo representar toda a população produzida ao longo de um longo período, algo que à partida será crítico quando analisada a variabilidade

a longo prazo. Será, portanto, de esperar que o Cp e Cpk diminuam ao longo do tempo, pelo que não se podem tirar conclusões sem dados acerca desses valores.

Por fim, resta referir que este tipo de metodologia poderia ser reintegrada numa fase inicial do projeto (Fase Um), aquando da realização de um FMEA funcional (passando a ser um dos pontos a verificar nesse FMEA), antes da conclusão do desenho final, onde uma das etapas seria a definição de requisitos funcionais críticos do ponto de vista dimensional e, a respetiva análise por meio das ferramentas aqui apresentadas. O diagrama da Figura 20 ilustra esse processo. Esta análise seria ainda realimentada com dados fornecidos pelo controlo estatístico do processo, como referido acima, o que não se encontra ilustrado.

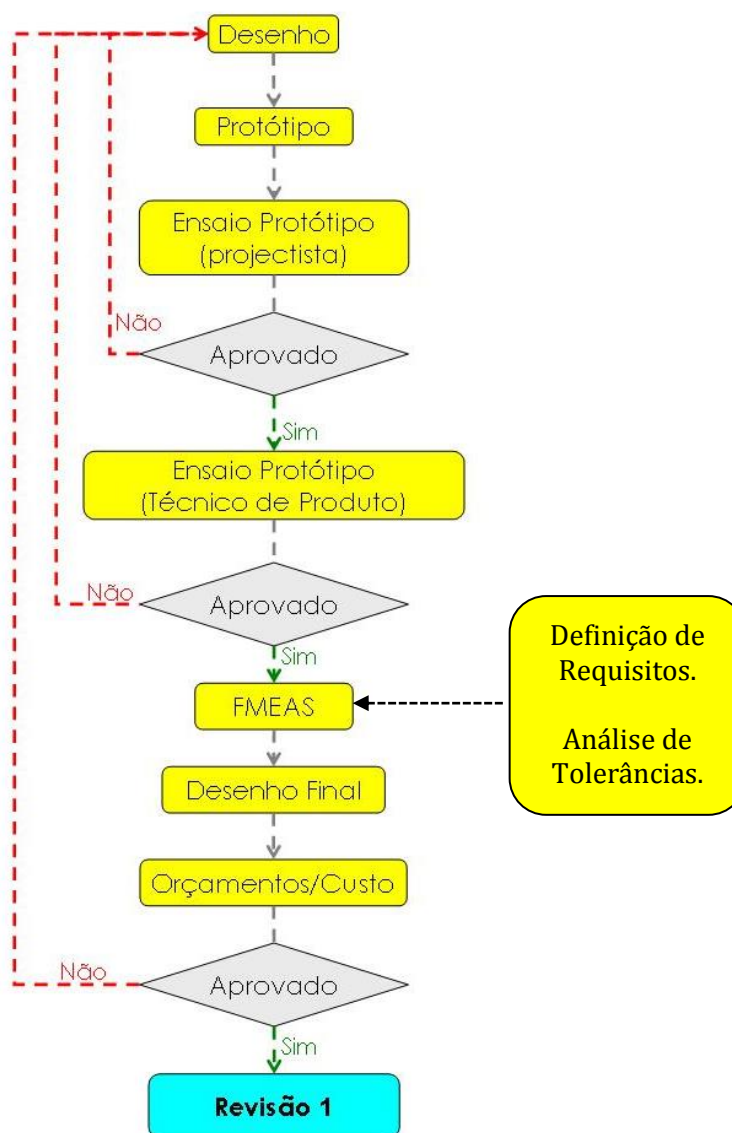


Figura 20. Fluxograma Ilustrativo da integração da metodologia no fluxo de projeto.

## 9. Conclusões

O principal objetivo deste estágio era definir toda uma metodologia conducente à análise de modos de falha de todos os componentes de um mecanismo sanitário, resultando essa na implementação das ações preventivas em várias fases de desenvolvimento do produto. O estudo das falhas ocorridas no produto final quando em funcionamento, permitiu de forma simples mostrar como seria possível reintegrar a falha analisada num FMEA na fase inicial do projeto. Nesse momento, mostrou-se que seria pertinente realizar uma análise de tolerâncias como aquela que se aqui se levou a cabo, de onde se retiram as seguintes conclusões:

- A análise de tolerâncias permitiu definir de forma clara e concreta um requisito funcional, e perceber que o mesmo não era garantido tendo em conta as tolerâncias atribuídas.

- A aplicação de diferentes métodos permitiu realocar as tolerâncias e garantir, em teoria, o funcionamento da válvula em questão, relativamente ao requisito em estudo.

- Toda esta metodologia faz uso de coeficientes de capacidade do processo, adimensionais e independentes da dimensão da cota, que se revelam como ferramentas poderosas de comunicação dentro de uma organização, pela facilidade com que permitem transmitir a informação de forma clara.

Contudo, relembra-se que ao aplicar estas metodologias é necessário que tal seja feito a uma escala global da organização e não apenas no departamento de desenvolvimento, pois é necessário haver meios para executar uma caracterização metrológica das cotas que o projetista necessita e, para além disso, que o processo esteja sob controlo estatístico.

Finalmente, apesar da existência deste problema, a válvula funciona na maioria das vezes. Isto não retira pertinência a um estudo desta natureza, mas sendo o produto analisado um sistema dinâmico e não estático (como se assumiu neste estudo), a crença é de que a folga estudada estabilizou num valor reduzido, pelo que apresenta uma elevada sensibilidade a pequenas variações na dinâmica de forças inerentes a uma descarga de autoclismo, que podem ser agravadas por uma série de fatores e influenciar negativamente o funcionamento do produto.

## 10. Trabalhos Futuros

Como foi estudado, implementar no fluxo de projeto uma análise como que foi realizada neste estudo poderá representar uma vantagem ao nível do projeto para a OLI. No entanto, esta análise foi feita apenas no ponto de vista teórico, pelo que não existe forma de analisar o impacto que poderia ter tido na realidade. Viu-se também, a dificuldade de implementação associada a esta ferramenta, uma vez que influenciaria uma série de departamentos na organização. Assim sendo, são aqui expostos alguns pontos considerados importantes para trabalhos futuros, por forma a implementar e comprovar esta ferramenta:

- **Estudar necessidades ao nível dos meios de metrologia.** Como se viu, existem dificuldades inerentes à implementação de uma análise de tolerâncias em fase de projeto, do ponto de vista dos meios metrológicos necessários para caracterizar as cotas definidas como funcionais no conjunto. Antes de implementar esta metodologia seria necessário analisar quais as necessidades ao nível do equipamento, pessoal para o operar e o investimento que isso representaria.

- **Estudar a implementação de controlo estatístico do processo.** Seria interessante recolher informação acerca das possíveis vantagens e desvantagens dentro do processo produtivo da OLI, bem como da viabilidade em assumir apenas cotas de referência para controlo ao invés de controlar todas as cotas consideradas como críticas.

- **Estudar a propagação de tolerâncias tendo em conta um conjunto flexível.** Como foi referido, assumiu-se que o conjunto era estático e não sofria deformações sendo, por isso, interessante realizar uma análise mais próxima da realidade, realizada por meio de métodos mais avançados referidos no documento.

- **Estudar a realocação das tolerâncias consoante os custos das mesmas.** Seria relevante comparar o investimento com o retorno da aplicação desta metodologia, do ponto de vista do fabrico da ferramenta moldante e do próprio número de não conformes.

- **Estudar a implementação de toleranciamento dimensional e geométrico na OLI com nova análise de tolerâncias.** A análise realizada considerou apenas uma dimensão quando, na realidade, a propagação das tolerâncias poderá ocorrer em mais dimensões, e ser dependente da forma de determinada geometria, sendo por isso interessante aprofundar o conhecimento nesta área.

## 11. Bibliografia

- [1] J. M. Juran, *Juran on Quality by Design: The New Steps for Planning Quality into Goods and Services*, Free Press; Revised edition, 1992.
- [2] F. M. G. Joseph M. Juran, *Juran's Quality Control Handbook*, McGraw-Hill, 1988.
- [3] International Organization for Standardization, *ISO 9001:2008 Quality management systems; Requirements*, 2008.
- [4] N. R. Tague, *Quality Toolbox*, 2nd edition, ASQ Quality Press, 2005.
- [5] E. Whitmore, *Development of FDA-regulated Medical Products*, Second Edition, ASQ Quality Press, 2012.
- [6] CENTIMFE, *Manual do Projetista para Moldes de Injeção de Plástico*, 2003.
- [7] G. Menges e P. Mohren, *How to Make Injection Molds*, Hanser, 1993.
- [8] J. Fischer, *Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage*, William Andrew, 2003.
- [9] L. K. Arnold, *Introduction to Plastics*, The Iowa State University Press, 1968.
- [10] M. L. Berins, *Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry*, Springer, 1991.
- [11] M. M. Coleman e P. C. Painter, *Fundamentals of Polymer Science: An Introductory Text*, 2nd Edition, CRC Press, 1998.
- [12] J. Paul Drake, *Dimensioning and Tolerancing Handbook*, 1 edition, McGraw-Hill Education, 1999.
- [13] A. Krulikowski, *Fundamentals of Geometric Dimensioning and Tolerancing*, 2nd Edition, Cengage Learning, 1996.
- [14] J. D. Meadows, *Geometric Dimensioning and Tolerancing-Applications, Analysis & Measurement [per ASME Y14.5-2009]*, 1st edition, James D. Meadows & Associates, Incorporated, 2009.



- [15] International Organization for Standardization, ISO 8015:2011 Geometrical product specifications (GPS); Fundamentals - Concepts, principles and rules, 2011.
- [16] Deutsches Institut für Normung, DIN 16901:1982 Plastics Mouldings; Tolerances and acceptance conditions for linear dimensions, 1982.
- [17] A. Requicha, Mathematical Definitions of Tolerance Specifications, *Manufacturing Review*, 1993.
- [18] P. J. P. J. S. Singh, "Important Issues in Tolerance Design of Mechanical Assemblies (Part 1: tolerance analysis)," *Proc. ImechE, J. Engineering Manufacture*, pp. Vol. 223 Part B, pp. 765-778, 2009.
- [19] K. B. C. R. S. Sivakumar, "Simultaneous Optimal Selection of Design and Manufacturing Tolerances with Alternative Manufacturing Process Selection," *Computer-Aided Design, Volume 43, Issue 2*, pp. pp. 207-218, 2011.
- [20] M. J. Harry, "Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability," *Quality Progress Vol. 31*, pp. pp. 60-64, 1998.

## 12. Anexos

### Anexo A

Anexo A1 – Tabela de toleranciamento para ABS, de acordo com a norma DIN 16901.

General Tolerances DIN 16901-130										
Nominal dimension range bis / up to	0 1	1 3	3 6	6 10	10 15	15 22	22 30	30 40	40 53	53 70
Not mould-dependent measure	±0.18	±0.19	±0.20	±0.21	±0.23	±0.25	±0.27	±0.30	±0.34	±0.38
Mould-dependent measure	±0.08	±0.09	±0.10	±0.11	±0.13	±0.15	±0.17	±0.20	±0.24	±0.28
Nominal dimension range bis / up to	70 90	90 120	120 160	160 200	200 250	250 315	315 400	400 500	500 630	630 800
Not mould-dependent measure	±0.44	±0.51	±0.60	±0.70	±0.90	±1.10	±1.30	±1.60	±2.00	±2.5
Mould-dependent measure	±0.34	±0.41	±0.50	±0.60	±0.80	±1.00	±1.20	±1.50	±1.90	±2.40

Anexo A2 – Tabela de toleranciamento para POM, de acordo com a norma DIN 16901.

General Tolerances DIN 16901-140										
Nominal dimension range bis / up to	0 1	1 3	3 6	6 10	10 15	15 22	22 30	30 40	40 53	53 70
Not mould-dependent measure	±0.20	±0.21	±0.22	±0.24	±0.27	±0.30	±0.34	±0.38	±0.43	±0.50
Mould-dependent measure	±0.10	±0.11	±0.12	±0.14	±0.17	±0.20	±0.24	±0.28	±0.33	±0.40
Nominal dimension range bis / up to	70 90	90 120	120 160	160 200	200 250	250 315	315 400	400 500	500 630	630 800
Not mould-dependent measure	±0.60	±0.70	±0.85	±1.05	±1.25	±1.55	±1.90	±2.30	±2.90	±3.60
Mould-dependent measure	±0.50	±0.60	±0.75	±0.95	±1.15	±1.45	±1.80	±2.20	±2.80	±3.50

Anexo A3 – Tabela de toleranciamento para PP, de acordo com a norma DIN 16901.

General Tolerances DIN 16901-150										
Nominal dimension range bis / up to	0 1	1 3	3 6	6 10	10 15	15 22	22 30	30 40	40 53	53 70
Not mould-dependent measure	±0.23	±0.25	±0.27	±0.30	±0.34	±0.38	±0.43	±0.49	±0.57	±0.68
Mould-dependent measure	±0.13	±0.15	±0.17	±0.20	±0.24	±0.28	±0.33	±0.39	±0.47	±0.58
Nominal dimension range bis / up to	70 90	90 120	120 160	160 200	200 250	250 315	315 400	400 500	500 630	630 800
Not mould-dependent measure	±0.71	±0.87	±1.10	±1.40	±1.70	±2.10	±2.70	±3.30	±4.20	±5.20
Mould-dependent measure	±0.60	±0.70	±0.85	±1.05	±1.25	±1.55	±1.90	±2.30	±2.90	±3.60

## Anexo B

Anexo B1 - Tabela com os valores médios obtidos a partir de três ensaios de caracterização metrológica, para determinada cota, para a amostra indicada na coluna da esquerda (ABS).

Amostra	Intervalos de valores para ABS (mm)										
	1-3	3-6	6-10	10-15	22-30	30-40	40-53	53-70	70-90	90-120	120-160
1	2.01	5.07	6.00	10.53	22.67	36.01	50.25	66.36	84.78	109.98	154.54
2	2.02	5.04	6.00	10.53	22.69	36.00	50.27	66.38	84.80	110.01	154.54
3	2.01	5.05	6.00	10.52	22.69	36.00	50.25	66.39	84.78	109.98	154.53
4	2.02	5.05	6.00	10.52	22.70	36.01	50.26	66.39	84.78	109.98	154.53
5	2.00	5.06	6.00	10.53	22.70	36.01	50.29	66.39	84.80	109.97	154.57
6	2.01	5.06	5.99	10.53	22.69	36.00	50.27	66.38	84.78	109.98	154.53
7	2.02	5.07	6.00	10.53	22.70	36.00	50.28	66.38	84.77	109.99	154.52
8	2.01	5.06	6.00	10.52	22.69	36.02	50.26	66.38	84.80	109.97	154.53
9	2.01	5.06	6.00	10.54	22.70	36.03	50.26	66.40	84.79	110.00	154.56
10	2.01	5.06	5.99	10.52	22.69	36.02	50.25	66.39	84.81	109.98	154.56
11	2.01	5.06	6.00	10.54	22.70	36.01	50.27	66.39	84.78	109.97	154.53
12	2.00	5.06	6.00	10.53	22.69	36.03	50.28	66.40	84.77	109.97	154.54
13	2.00	5.05	5.99	10.53	22.69	36.02	50.26	66.38	84.77	109.98	154.55
14	2.01	5.04	6.01	10.53	22.70	36.03	50.28	66.38	84.80	109.98	154.56
15	2.02	5.06	6.01	10.52	22.69	36.01	50.25	66.40	84.80	109.98	154.54
16	2.01	5.05	6.01	10.54	22.69	36.01	50.27	66.37	84.77	110.01	154.54
17	2.02	5.05	5.99	10.54	22.70	36.01	50.25	66.38	84.78	109.98	154.53
18	2.02	5.06	6.00	10.53	22.69	36.00	50.26	66.36	84.79	109.99	154.54
19	2.01	5.06	6.00	10.53	22.70	36.02	50.26	66.37	84.78	109.98	154.53
20	2.01	5.06	6.00	10.53	22.69	36.02	50.26	66.36	84.78	109.98	154.54
21	2.01	5.06	6.01	10.54	22.69	36.03	50.26	66.37	84.78	109.97	154.56
22	2.01	5.05	6.00	10.51	22.69	36.03	50.26	66.36	84.78	109.99	154.54
23	2.02	5.05	6.01	10.53	22.70	36.00	50.26	66.36	84.78	109.99	154.55
24	2.00	5.06	6.01	10.52	22.69	36.02	50.24	66.40	84.78	109.98	154.55
25	2.01	5.06	6.00	10.52	22.69	36.01	50.28	66.37	84.77	109.98	154.55
26	2.02	5.06	6.00	10.53	22.70	36.02	50.26	66.38	84.78	109.97	154.56
27	2.01	5.06	6.00	10.53	22.70	36.01	50.26	66.37	84.80	110.00	154.55
28	2.01	5.06	6.00	10.52	22.68	36.03	50.24	66.37	84.78	109.98	154.55
29	2.02	5.06	6.00	10.51	22.69	36.03	50.26	66.38	84.79	110.00	154.54
30	2.02	5.06	6.00	10.52	22.70	36.03	50.26	66.40	84.80	109.98	154.56
31	2.02	5.05	6.00	10.54	22.70	36.00	50.26	66.36	84.78	109.98	154.54
32	2.01	5.04	5.99	10.54	22.69	36.01	50.25	66.38	84.80	109.97	154.55
33	2.02	5.06	6.00	10.53	22.69	36.02	50.29	66.37	84.77	109.97	154.56
34	2.02	5.06	5.99	10.52	22.70	36.01	50.28	66.37	84.79	109.98	154.51
35	2.02	5.06	6.00	10.53	22.69	36.02	50.26	66.38	84.81	109.99	154.53
36	2.02	5.06	6.00	10.53	22.69	36.03	50.26	66.39	84.77	109.96	154.53
37	2.01	5.06	6.01	10.53	22.70	36.03	50.28	66.37	84.78	110.01	154.54
38	2.01	5.06	6.00	10.53	22.69	36.01	50.29	66.36	84.79	110.00	154.56

Anexo B2 - Tabela com os valores médios obtidos a partir de três ensaios de caracterização metrológica, para determinada cota, para a amostra indicada na coluna da esquerda (POM).

Amostra	Intervalos de valores para POM (mm)								
	1-3	3-6	6-10	10-15	15-22	22-30	30-40	40-53	70-90
1	2.04	4.07	7.99	15.04	19.09	24.44	38.40	48.93	81.22
2	2.04	4.07	7.99	15.03	19.06	24.44	38.40	48.92	81.21
3	2.03	4.06	8.01	15.04	19.06	24.44	38.40	48.92	81.23
4	2.03	4.07	8.00	15.02	19.06	24.45	38.41	48.92	81.22
5	2.04	4.06	7.99	15.02	19.07	24.45	38.41	48.94	81.22
6	2.04	4.06	7.99	15.03	19.06	24.45	38.41	48.93	81.21
7	2.03	4.06	7.99	15.03	19.06	24.44	38.40	48.92	81.21
8	2.02	4.06	7.99	15.01	19.07	24.44	38.41	48.94	81.17
9	2.03	4.06	7.99	15.03	19.06	24.45	38.40	48.94	81.21
10	2.04	4.06	7.99	15.03	19.07	24.44	38.40	48.93	81.19
11	2.03	4.06	7.99	15.04	19.08	24.46	38.41	48.93	81.21
12	2.03	4.06	8.00	15.04	19.07	24.44	38.41	48.93	81.21
13	2.02	4.06	7.99	15.03	19.06	24.44	38.41	48.94	81.23
14	2.03	4.06	7.99	15.03	19.08	24.44	38.41	48.92	81.22
15	2.03	4.07	8.00	15.03	19.07	24.43	38.41	48.94	81.23
16	2.02	4.06	7.99	15.03	19.09	24.45	38.40	48.93	81.17
17	2.01	4.06	8.00	15.04	19.06	24.44	38.41	48.92	81.23
18	2.03	4.06	8.00	15.02	19.08	24.44	38.40	48.94	81.17
19	2.03	4.06	8.00	15.02	19.07	24.44	38.41	48.92	81.19
20	2.02	4.06	7.99	15.04	19.07	24.44	38.41	48.92	81.18
21	2.03	4.06	7.99	15.01	19.08	24.45	38.40	48.92	81.17
22	2.02	4.06	8.00	15.03	19.05	24.44	38.40	48.94	81.21
23	2.01	4.07	7.99	15.03	19.07	24.43	38.42	48.92	81.19
24	2.03	4.06	7.99	15.03	19.06	24.43	38.40	48.93	81.19
25	2.02	4.06	7.99	15.04	19.07	24.44	38.40	48.93	81.22
26	2.03	4.06	8.00	15.04	19.06	24.43	38.39	48.94	81.19
27	2.04	4.06	8.00	15.03	19.05	24.46	38.40	48.92	81.19
28	2.03	4.06	7.99	15.04	19.07	24.45	38.41	48.93	81.18
29	2.01	4.06	7.99	15.03	19.08	24.44	38.40	48.92	81.20
30	2.02	4.06	7.99	15.03	19.07	24.44	38.40	48.92	81.19
31	2.03	4.06	7.98	15.04	19.07	24.44	38.40	48.93	81.20
32	2.01	4.07	7.99	15.03	19.07	24.46	38.41	48.93	81.20
33	2.01	4.06	7.99	15.03	19.06	24.44	38.41	48.93	81.17
34	2.02	4.06	8.00	15.04	19.06	24.45	38.41	48.94	81.23
35	2.02	4.06	7.99	15.02	19.08	24.44	38.39	48.93	81.20
36	2.03	4.06	7.99	15.03	19.07	24.44	38.39	48.92	81.21
37		4.06	7.99	15.03	19.06	24.44	38.40	48.93	81.21
38		4.06	7.99	15.03	19.06	24.45	38.40	48.94	81.19

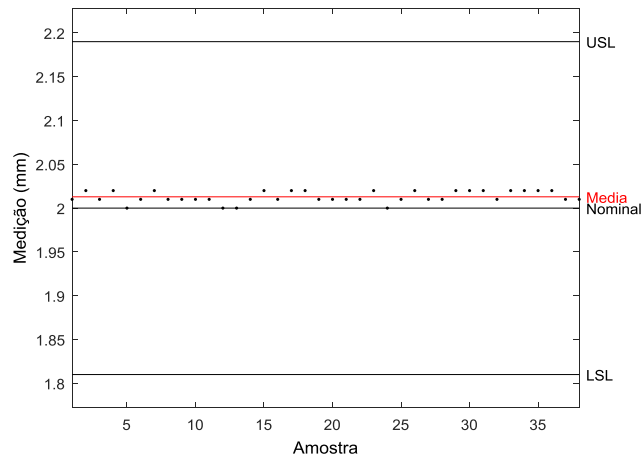
Anexo B3 - Tabela com os valores médios obtidos a partir de três ensaios de caracterização metrológica, para determinada cota, para a amostra indicada na coluna da esquerda (PP).

Amostra	Intervalos de valores para PP (mm)									
	1-3	3-6	6-10	10-15	15-22	22-30	30-40	40-53	53-70	70-90
1	1.97	3.15	8.89	14.92	18.76	27.88	34.98	45.00	68.87	80.45
2	1.97	3.16	8.88	14.94	18.76	27.89	34.97	44.99	68.87	80.46
3	1.97	3.16	8.90	14.92	18.76	27.89	34.97	44.98	68.87	80.47
4	1.95	3.16	8.89	14.93	18.76	27.89	34.99	45.04	68.86	80.46
5	1.97	3.16	8.89	14.93	18.75	27.89	34.96	45.01	68.87	80.48
6	1.96	3.14	8.88	14.92	18.77	27.91	35.00	45.00	68.86	80.50
7	1.96	3.17	8.88	14.95	18.74	27.91	34.99	45.01	68.87	80.48
8	1.96	3.16	8.88	14.93	18.75	27.90	34.98	44.97	68.87	80.49
9	1.97	3.17	8.88	14.93	18.75	27.90	34.99	45.02	68.88	80.44
10	1.96	3.15	8.89	14.92	18.74	27.88	34.98	45.01	68.87	80.47
11	1.95	3.17	8.89	14.93	18.76	27.89	34.99	45.02	68.86	80.50
12	1.95	3.16	8.89	14.93	18.75	27.90	34.96	45.02	68.87	80.45
13	1.96	3.15	8.89	14.93	18.75	27.89	34.95	45.00	68.87	80.45
14	1.98	3.15	8.89	14.92	18.76	27.89	35.00	45.00	68.86	80.50
15	1.97	3.16	8.88	14.93	18.76	27.90	34.98	45.02	68.87	80.45
16	1.97	3.15	8.89	14.93	18.76	27.90	34.97	45.01	68.87	80.49
17	1.97	3.16	8.89	14.93	18.74	27.89	34.97	45.01	68.86	80.49
18	1.97	3.16	8.90	14.95	18.74	27.90	34.95	45.02	68.86	80.46
19	1.97	3.16	8.89	14.94	18.75	27.90	34.99	45.02	68.87	80.50
20	1.96	3.16	8.89	14.92	18.75	27.89	34.99	45.02	68.87	80.49
21	1.96	3.16	8.89	14.94	18.76	27.89	35.00	45.01	68.86	80.45
22	1.97	3.17	8.88	14.93	18.75	27.88	35.01	45.02	68.87	80.45
23	1.96	3.16	8.89	14.92	18.74	27.89	34.95	45.02	68.86	80.51
24	1.97	3.16	8.89	14.92	18.75	27.91	34.97	45.03	68.87	80.48
25	1.96	3.16	8.88	14.92	18.75	27.90	34.99	45.02	68.86	80.49
26	1.96	3.16	8.89	14.93	18.76	27.90	34.98	45.02	68.86	80.46
27	1.97	3.15	8.88	14.93	18.76	27.90	34.98	45.02	68.87	80.45
28	1.95	3.16	8.89	14.93	18.75	27.88	34.97	45.01	68.87	80.46
29	1.97	3.16	8.89	14.93	18.76	27.89	34.98	45.02	68.86	80.51
30	1.97	3.16	8.89	14.92	18.75	27.88	34.99	45.01	68.86	80.49
31	1.95	3.17	8.88	14.93	18.75	27.90	34.98	45.02	68.87	80.45
32	1.96	3.16	8.89	14.93	18.75	27.89	34.97	45.00	68.87	80.48
33	1.98	3.16	8.89	14.93	18.76	27.89	34.96	45.00	68.86	80.50
34	1.97	3.16	8.88	14.94	18.76	27.90	34.96	45.02	68.87	80.47
35	1.97	3.14	8.88	14.93	18.76	27.89	35.00	45.02	68.87	80.49
36	1.97	3.16	8.88	14.94	18.76	27.89	34.99	45.02	68.86	80.45
37		3.16	8.89	14.92	18.75	27.90	34.97	45.02	68.88	80.47
38		3.16	8.89	14.93	18.75	27.90	34.97	45.02	68.87	80.49

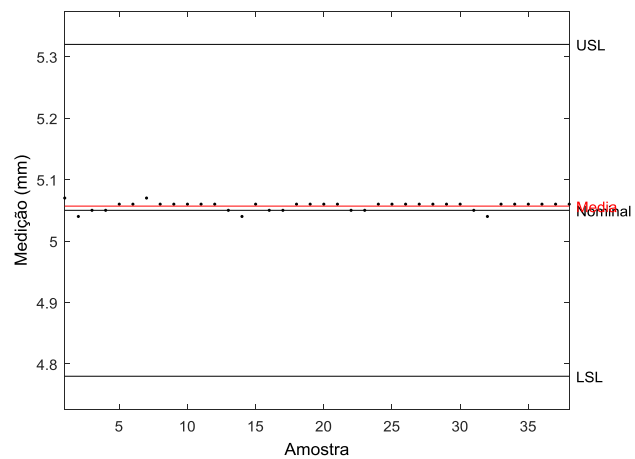
## Anexo C

Anexo C1 - Gráficos de dispersão para os valores médios da cota submetida a caracterização metrológica, para cada amostra. (ABS)

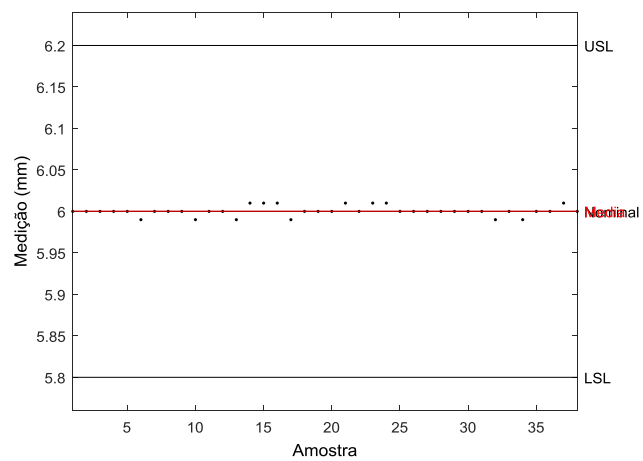
Intervalo 1-3 mm (ABS)



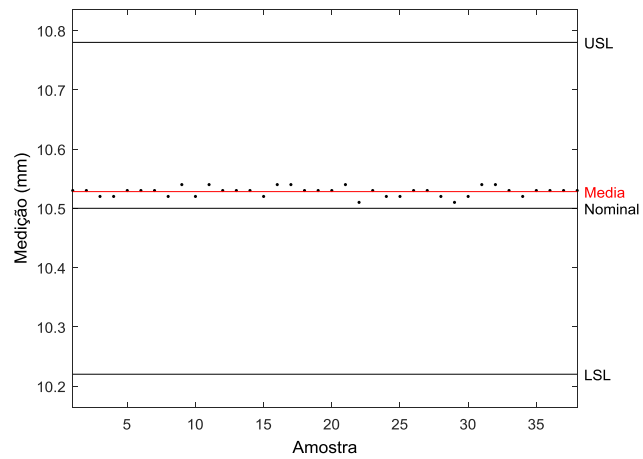
Intervalo 3-6 mm (ABS)



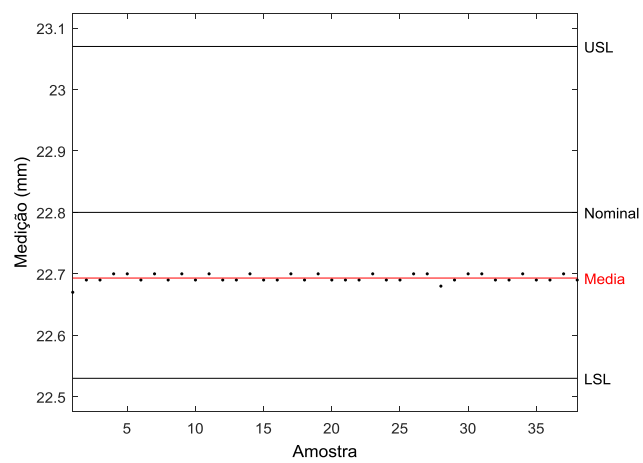
Intervalo 6-10 mm (ABS)



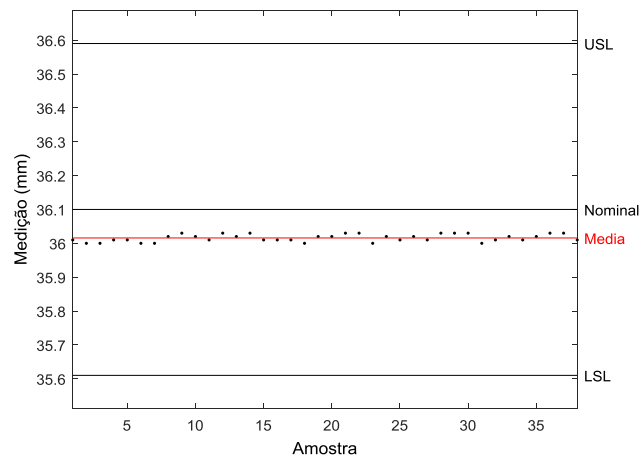
## Intervalo 10-15 mm (ABS)



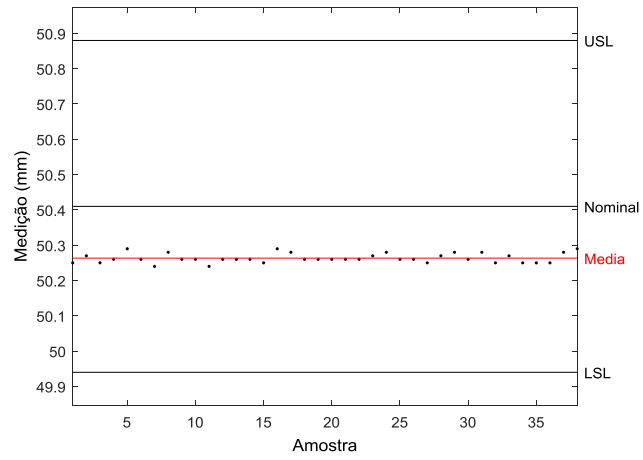
## Intervalo 22-30 mm (ABS)



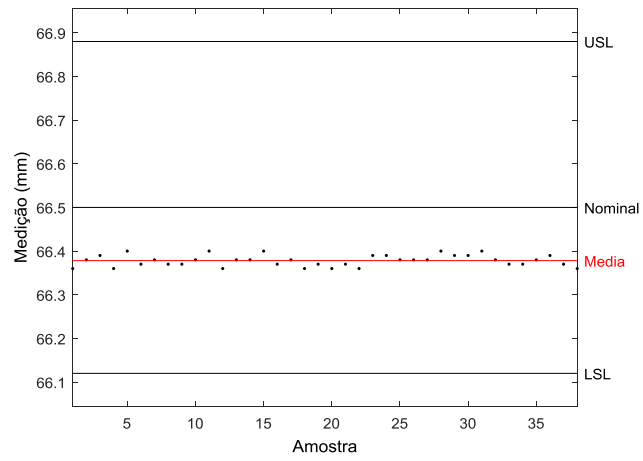
## Intervalo 30-40 mm (ABS)



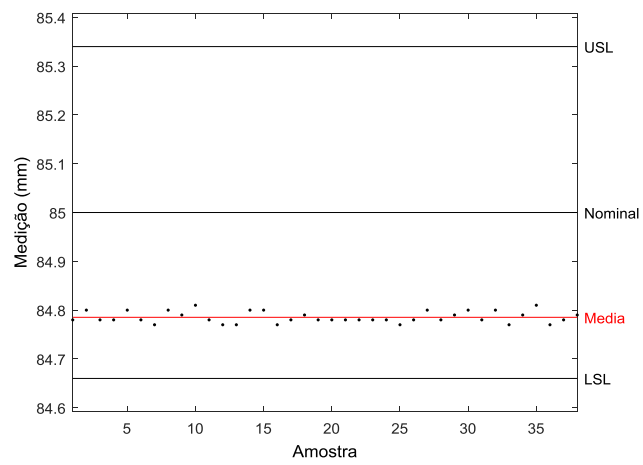
## Intervalo 40-53 mm (ABS)



## Intervalo 53-70 mm (ABS)

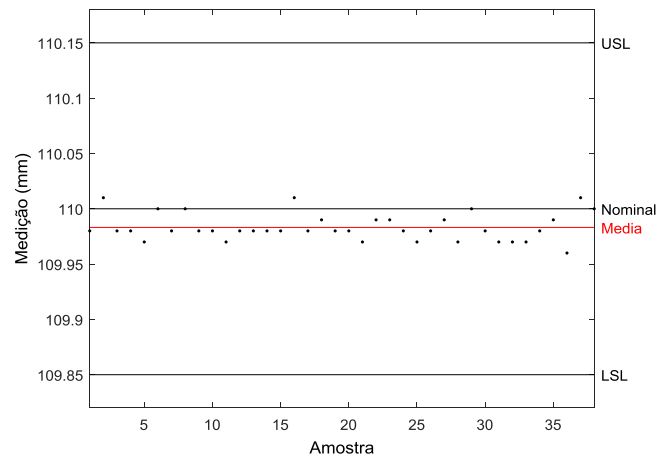


## Intervalo 70-90 mm (ABS)

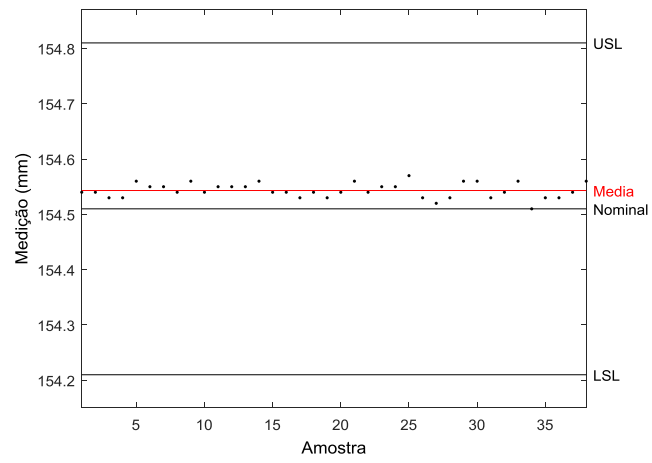




## Intervalo 90-120 mm (ABS)

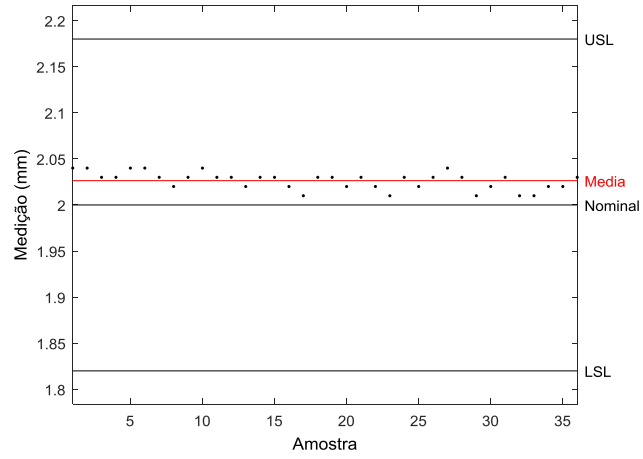


## Intervalo 120-160 mm (ABS)

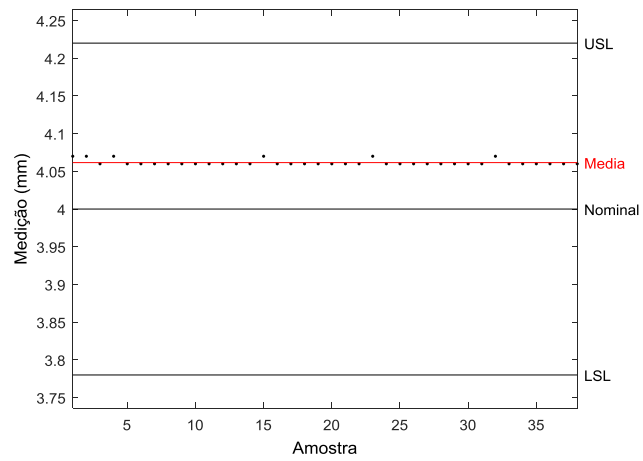


Anexo C2 - Gráficos de dispersão para os valores médios da cota submetida a caracterização metrológica, para cada amostra. (POM)

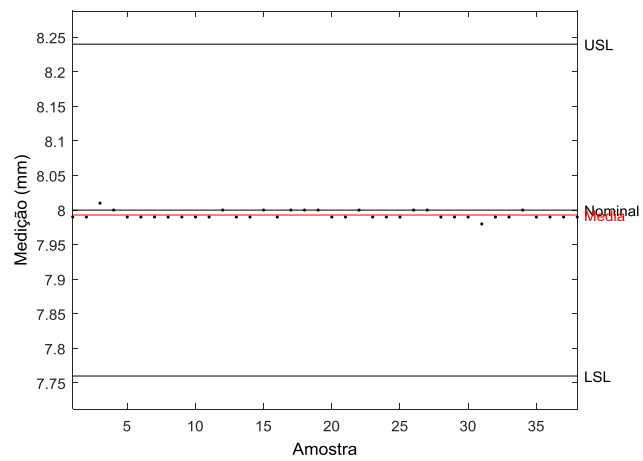
### Intervalo 1-3 mm (POM)



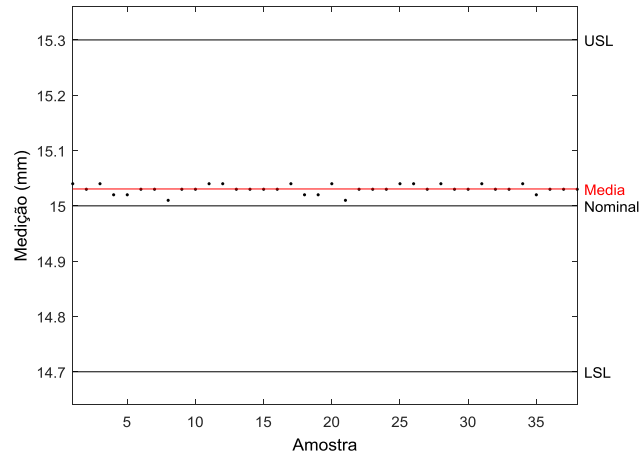
### Intervalo 3-6 mm (POM)



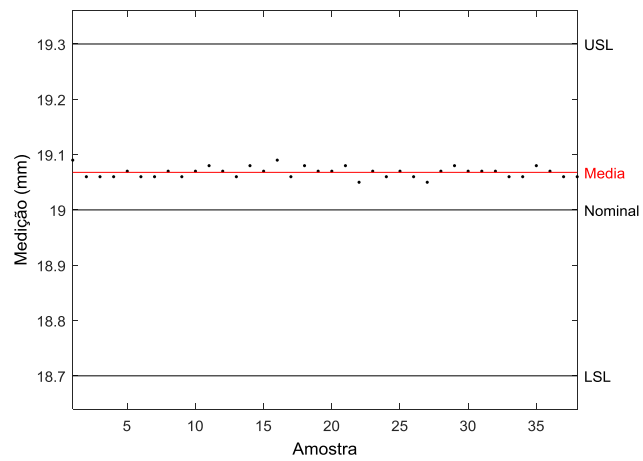
### Intervalo 6-10 mm (POM)



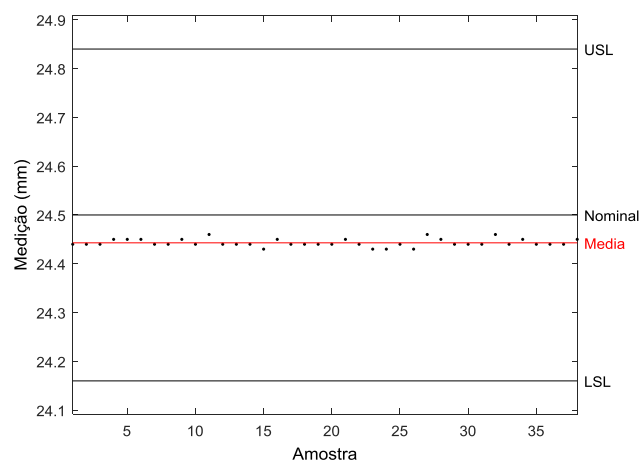
## Intervalo 10-15 mm (POM)



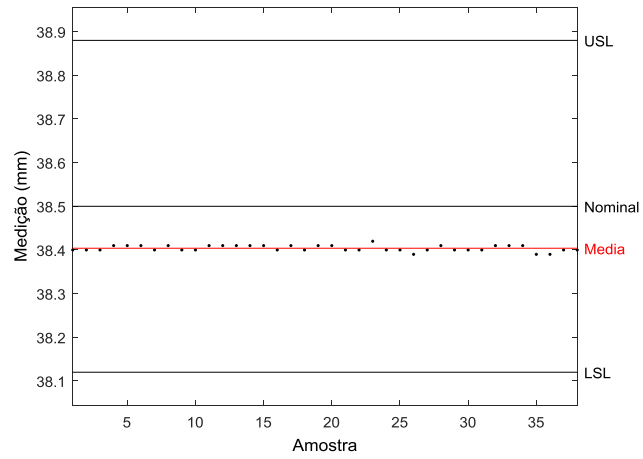
## Intervalo 15-22 mm (POM)



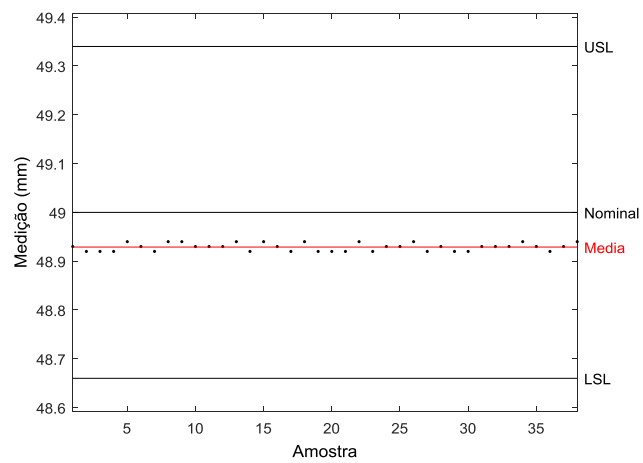
## Intervalo 22-30 mm (POM)



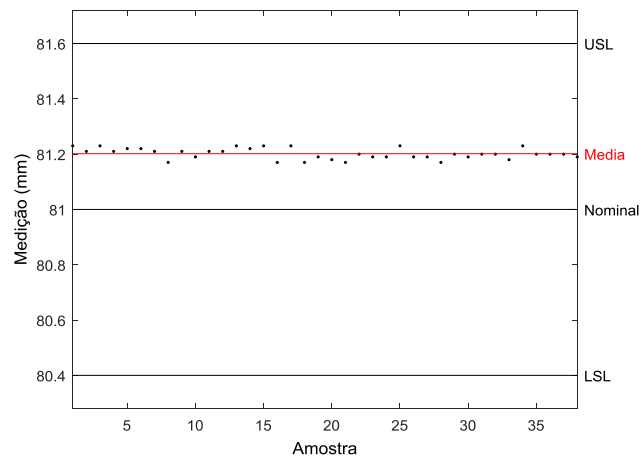
## Intervalo 30-40 mm (POM)



## Intervalo 40-53 mm (POM)

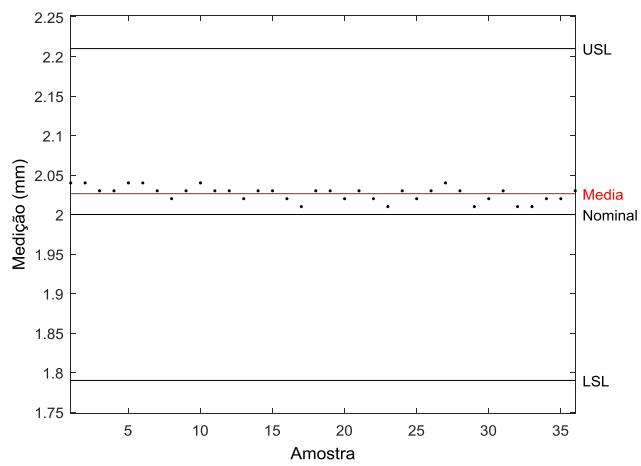


## Intervalo 70-90 mm (POM)

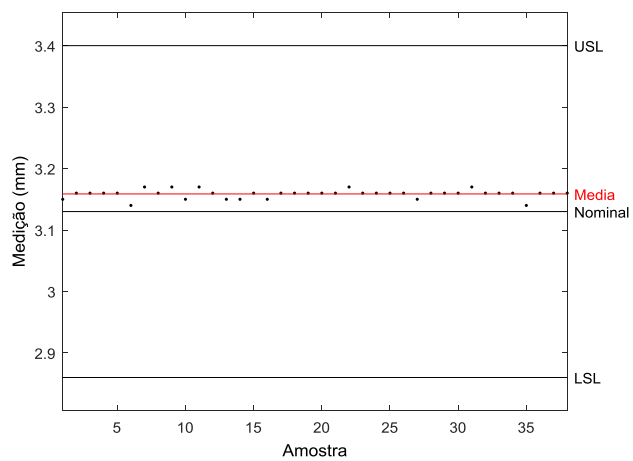


Anexo C3 - Gráficos de dispersão para os valores médios da cota submetida a caracterização metrológica, para cada amostra. (ABS)

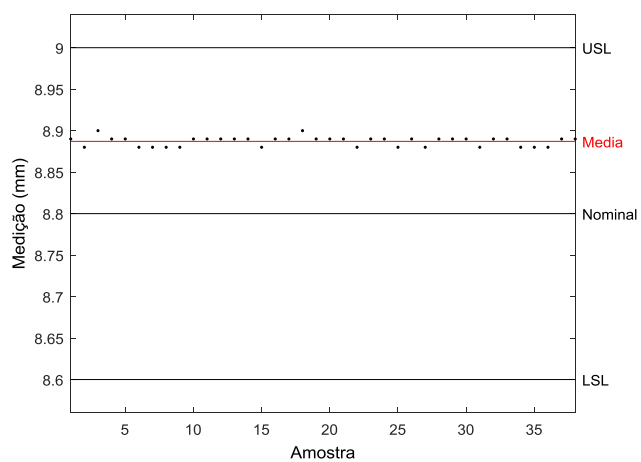
### Intervalo 1-3 mm (PP)



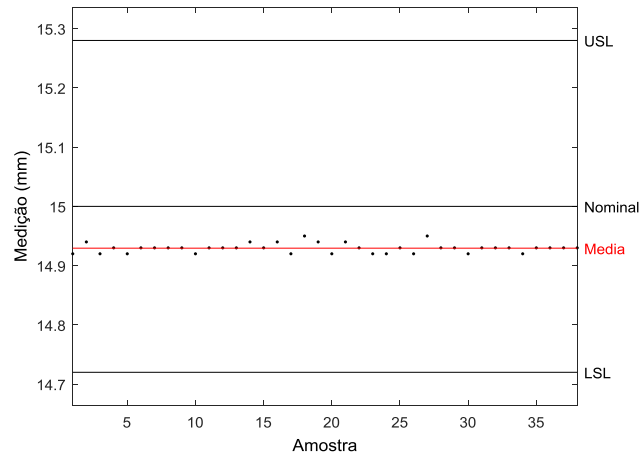
### Intervalo 3-6 mm (PP)



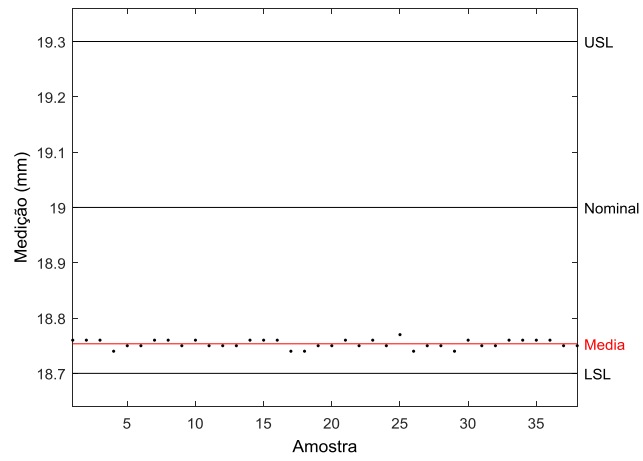
### Intervalo 6-10 mm (PP)



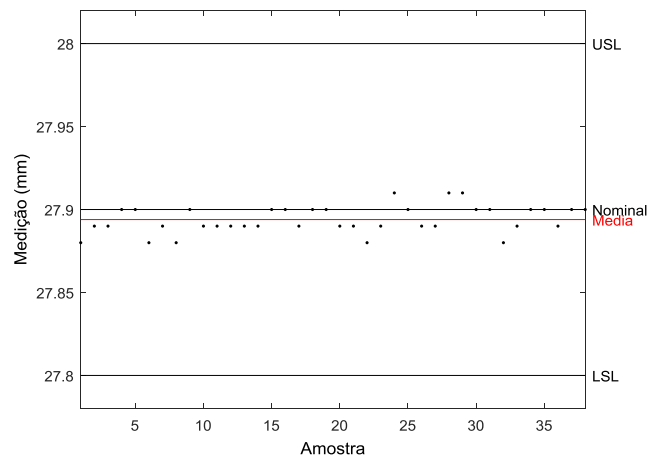
## Intervalo 10-15 mm (PP)



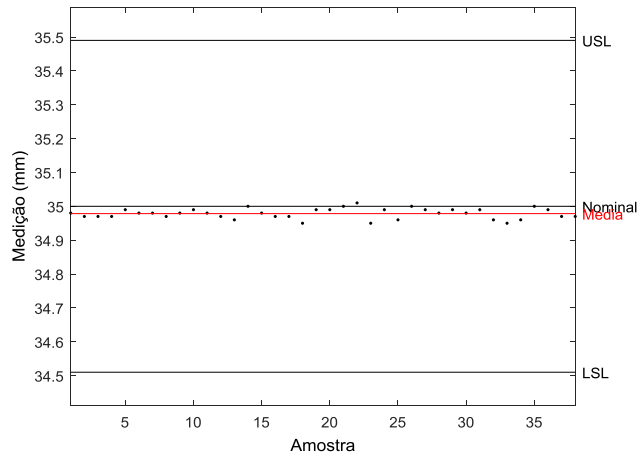
## Intervalo 15-22 mm (PP)



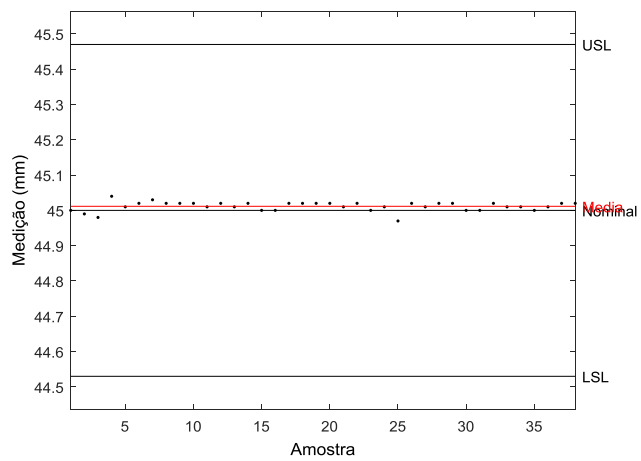
## Intervalo 22-30 mm (PP)



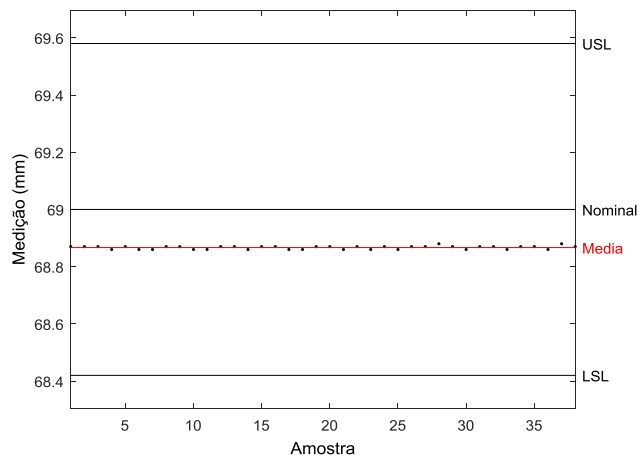
## Intervalo 30-40 mm (PP)



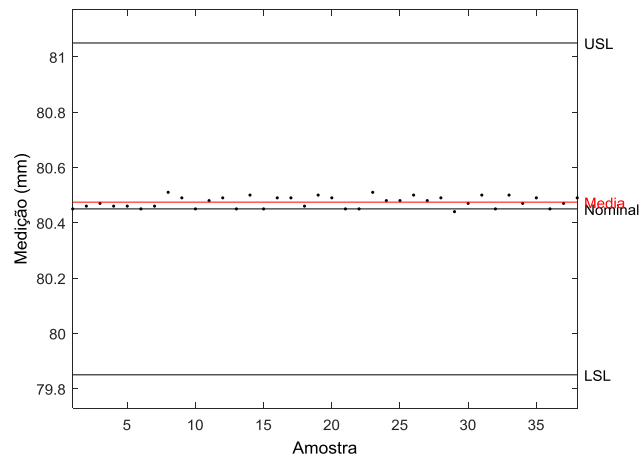
## Intervalo 40-53 mm (PP)



## Intervalo 53-70 mm (PP)



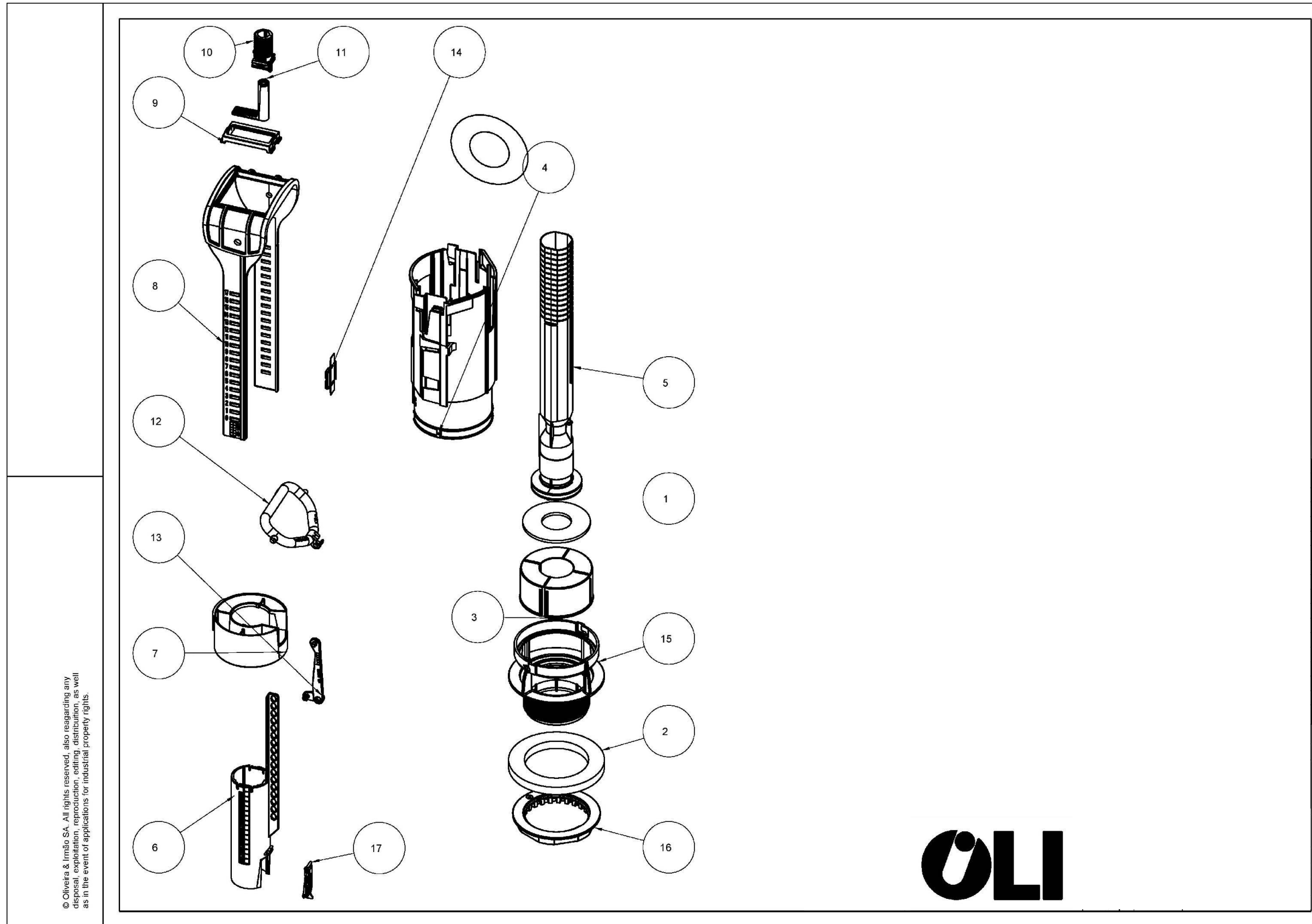
## Intervalo 70-90 mm (PP)





## Anexo D

Anexo D1 – Representação do conjunto em vista explodida, com respetiva numeração dos componentes.



Anexo D2 – Representação do conjunto em corte (rodado 90° no sentido horário), estando representadas as cotas da cadeia analisada.

