

Agradecimentos

Desejo expressar os mais sinceros e profundos agradecimentos:

Ao orientador, Professor Paulo Peças, pela gratificante orientação científica, pelos seus ensinamentos, apoio, motivação e disponibilidade constantes ao longo de todo o trabalho.

Ao co-orientador, Professor Arlindo Silva, pela co-orientação, pelos conselhos sábios, pela disponibilidade e paciência demonstrados ao longo da tese.

À Professor Elsa Henriques, pelo apoio, disponibilidade e incentivo demonstrados, bem como pelos conselhos preciosos ao longo de toda a tese.

À empresa Fapil – Indústria de escovaria, S.A, pela disponibilidade e apoio demonstrado, permitindo que o trabalho alcançasse os objectivos a que se propôs.

À Natália Serrano pela paciência e ajuda gratificante na comunicação e tradução em Castelhana.

Aos meus pais, pelo carinho e amor demonstrados, bem como pela paciência inesgotável, apoio e compreensão ao longo do trabalho.

Nome: Carlos Eduardo Soeiro Possollo Nunes Bento

Mestrado em: Engenharia Mecânica

Orientador: Paulo Miguel Nogueira Peças

Co-orientador: Arlindo José de Pinho Figueiredo e Silva

Título: Desenvolvimento do Produto Conduzido pela Análise do Valor: Um caso de estudo

Resumo

A elevada exigência e concorrência do mercado actual, causada pela globalização e permanente evolução tecnológica, leva a que as empresas procurem inovar os seus produtos, de modo a tornarem-se mais competitivas. Desta forma, o Desenvolvimento de Produto é o processo que permite a inovação do produto, tornando-o mais competitivo.

O Desenvolvimento de Produto permite, captar do exterior as necessidades do cliente e analisar os produtos concorrentes, que com a técnica de inovação Análise do Valor direcciona o desenvolvimento de modelos no sentido da criação de Valor. Produtos com maior Valor significam produtos mais competitivos, satisfazendo as necessidades que os clientes estão dispostos a pagar. Para produtos de produção intensiva, o desenvolvimento do produto em si simultaneamente com o desenvolvimento do sistema montagem, torna-se crucial para a redução de custos e redução de tempo de introdução no mercado. A estruturação e implementação da metodologia de desenvolvimento de produto possibilitam por outro lado, menores custos e tempos num desenvolvimento futuro.

O objectivo desta tese consiste no estudo da inovação de um produto já existente cuja produção é subcontratada, de produção intensiva – mola para roupa, aplicando o Desenvolvimento de Produto e integrando a técnica de Análise do Valor. São comparados e avaliados os modelos finais desenvolvidos em função do volume de produção, bem como é desenvolvido o conceito funcional do sistema de montagem para os modelos seleccionados pela Análise do Valor.

Palavras-chave:

Inovação de Produtos; Desenvolvimento de Produtos; Análise do Valor

Name: Carlos Eduardo Soeiro Possollo Nunes Bento

Master Degree: Mechanical engineering

Supervisor: Paulo Miguel Nogueira Peças

Co-supervisor: Arlindo José de Pinho Figueiredo e Silva

Title: Product Development Guided with Value Analysis: A study case

Abstract

The high demand and competition of the actual market, caused by globalization and permanent technical evolution, highly pressurizes companies. In order to battle such pressure, Product Development is the process that allows product innovation, making them more competitive.

Product Development allows to capture from the exterior the costumers needs and to analyze the competition products, that together with the innovation technique, Value Analysis, directs the development of models into Value creation. Products with more Value, mean more competitive products, fulfilling needs that clients are willing to pay. For products of intensive production, the product development, simultaneously with the development of the assembly system, becomes crucial for cost reduction and a lower market introduction timing. The structuring and methodology implementation of product development allow, by the other hand, lower costs and less time in a future development.

The goal of this thesis is to study the innovation of an existing product, which the production is outsourced, of intensive production –clothes peg, applying Product Development and integrating the Value Analysis technique. The final models developed are compared and evaluated in function of the production volume, as well as the functional concept of the assembly system for the selected models is developed.

Keywords

Product Innovation; Product Development; Value Analysis

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice	iv
I – Introdução.....	1
II – Estado da arte do Desenvolvimento e Inovação de Produto no contexto das PME's.....	3
1. Inovação de Produtos em PME's.....	3
1.1. A natureza da Inovação.....	3
1.2. Perspectiva histórica da adopção de Inovação.....	4
1.3. Influência da localização geográfica na Inovação de Produtos.....	5
1.4. Factores determinantes na Inovação de Produto.....	5
2. Desenvolvimento de Produto.....	7
2.1. Factores de Sucesso.....	7
2.2. O processo.....	7
2.2.1. Planeamento de Produto.....	9
2.2.2. Desenvolvimento de Modelos.....	10
2.3. Adaptação do processo genérico ao tipo de Produto.....	16
3. Análise do Valor.....	16
III – Desenvolvimento de Produto como Inovação numa PME.....	18
1. Metodologia Adoptada.....	18
1.1. Metodologia geral.....	18
1.2. Metodologia no Desenvolvimento de Produto.....	19
1.3. Pressupostos relevantes.....	21
2. Diagnóstico de Produto.....	21
2.1. Estrutura.....	21
2.2. Materiais.....	22
2.2.1. Polímeros.....	23

2.2.2. Polímeros utilizados.....	25
2.3. Desempenho e custos.....	25
2.3.1. Comportamento Mecânico.....	25
2.3.1.1. Determinação da força experimental do fixador e comportamento mecânico.....	26
2.3.1.2. Força de abertura máxima.....	28
2.3.1.3. Força de fixação.....	28
2.3.2. Custo.....	29
3. Desenvolvimento de Produto.....	30
3.1. Planeamento de Produto.....	30
3.2. Desenvolvimento de modelos.....	31
3.2.1. Identificação das necessidades do cliente.....	31
3.2.2. Especificações de Produto.....	35
3.2.2.1. Quantificação das necessidades do cliente.....	35
3.2.2.2. Especificações de Produtos concorrentes.....	36
3.2.2.3. Especificações a atingir.....	37
3.2.3. Geração de modelos.....	39
3.2.3.1. Análise de Valor do actual Produto.....	49
3.2.3.2. Geração de corpos de mola.....	46
3.2.3.2.1. Geração de corpo 1.....	48
3.2.3.2.1. Geração de corpo2.....	55
3.2.3.3. Geração de fixadores.....	61
3.2.3.3.1. Metodologia geral.....	61
3.2.3.3.2. Concepção geométrica.....	62
3.2.3.3.3. Selecção de material e dimensionamento.....	63
3.2.4. Selecção de modelos.....	69
3.2.4.1. Modelos Finais.....	69
3.2.4.2. Determinação do Valor.....	71
3.2.4.3. Especificações finais para 2.400.000 unidades de volume de produção.....	75
4. Análise comparativa de modelos finais.....	75
4.1. Análise do Valor com volume de produção.....	75

4.2. Análise do custo com volume de produção.....	76
4.3. Comparação dos modelos seleccionados e modelo actual.....	77
5. Introdução ao Desenvolvimento do sistema de montagem.....	77
5.1. Especificações a atingir.....	77
5.2. Geração de conceito funcional.....	78
IV – Conclusões.....	79
V – Referências bibliográficas.....	81
Anexo 1. Análise estática em elementos finitos dos corpos de mola.....	83
Anexo 2. Cálculo das forças características das molas concorrentes.....	86
Anexo 3. Critério de plasticidade.....	87
Anexo 4. Desempenho de corpos de mola 2.....	88
Anexo 5. Análise estática em elementos finitos dos fixadores.....	90
1. Fixador circular.....	91
2. Fixadores rectangulares.....	93
Anexo 6. Gráficos e tabelas da análise comparativa de modelos.....	95
Anexo 7. Geração do conceito funcional.....	97
1. Metodologia.....	97
2. Clarificação e decomposição do problema.....	98
3. Pesquisa.....	99
4. Conceito.....	100

I - Introdução

No mundo actual caracterizado pela exigência crescente e forte concorrência, devido à globalização e permanente evolução tecnológica, a inovação torna-se um factor decisivo no aumento da competitividade das empresas, quer seja pela inovação de processos quer pela inovação de produtos. No caso dos produtos, a inovação atinge-se pela criação de maior valor, através do desenvolvimento de produto conduzido pela análise do valor, gerando produtos com a qualidade que o cliente está disposto a pagar.

A empresa Fapil, onde é aplicado o presente estudo, está presente no sector da indústria transformadora, sendo fabricante de produtos de escovaria e produtos em plástico. Esta encontra-se num mercado sujeito a elevadas pressões, especificamente no que concerne à concorrência de empresas dos países emergentes, com custos de mão-de-obra mais reduzidos. Desta forma para a sobrevivência da empresa no mercado actual, torna-se crucial a implementação do desenvolvimento de produto, para absorver do exterior as necessidades que o cliente está disposto a pagar, aplicando e direccionando a engenharia na geração de produtos com maior valor, tornando o produto mais competitivo.

A presente tese descreve o estudo do desenvolvimento de produto e sistema de montagem como inovação na empresa Fapil, para o produto em comercialização, cuja produção é subcontratada - mola para roupa. A secção II da presente tese, tem como objectivo contextualizar o estudo efectuado, apresentando o estado da arte da inovação de produtos em pequenas e médias empresas no primeiro capítulo, seguido do desenvolvimento de produto no capítulo 2, terminando com a técnica de análise do valor no capítulo 3, previamente integrada no desenvolvimento de produto.

Na Secção III da presente tese inicia-se o desenvolvimento de produto como inovação na empresa Fapil, com a metodologia no capítulo 1, seguido do diagnóstico de produto no capítulo 2. Neste capítulo é reproduzido e caracterizado o actual produto, para a base do desenvolvimento de produto no capítulo 3. O desenvolvimento de produto está dividido em dois pontos: o planeamento de produto e o desenvolvimento de modelos. No planeamento de produto é estabelecido o plano condutor para o desenvolvimento de modelos. Já no desenvolvimento de modelos são identificadas as necessidades do cliente, que juntamente com o benchmarking permite estabelecer as especificações a atingir na geração de modelos. Para direccionar a geração dos modelos no sentido de criarem mais valor, é aplicada a técnica de análise do valor, que também é usada posteriormente na fase de selecção de modelos determinando o valor associado a cada modelo para o volume de produção definido pela empresa.

É efectuada uma análise comparativa no capítulo 4 entre os modelos seleccionados pela análise do valor e apenas pelos custos, com o modelo actual, em função do volume de

produção. No último capítulo desta secção (III), é efectuada uma introdução ao desenvolvimento do conceito funcional do sistema de montagem, de forma a validar a montagem dos modelos seleccionados no capítulo 4 em função do volume de produção, e a dar início a um trabalho a desenvolver no futuro, para o desenvolvimento do sistema de montagem.

Por último, na secção IV desta tese apresentam-se as conclusões deste estudo, com base nas análises efectuadas ao longo do trabalho, bem como as propostas o trabalho futuro a desenvolver.

II - Estado da Arte do Desenvolvimento e Inovação de Produto no contexto das Pequenas e Médias Empresas

Este capítulo tem por objectivo a explanação do estado da arte do desenvolvimento e inovação de produtos em pequenas e médias empresas. Para tal é apresentado inicialmente uma secção dedicada ao estado da inovação de produtos em pequenas e médias empresas, seguido da apresentação do Desenvolvimento de Produto onde se integra a perspectiva da técnica de Análise do Valor apresentada no último subcapítulo.

1 – Inovação de Produtos em Pequenas e Médias Empresas

No presente capítulo, apresenta-se o estado da arte da inovação de produtos em pequenas e médias empresas, um requisito essencial para a sobrevivência das empresas, num mercado global com uma exigência crescente e em permanente mudança [1]. Serão apresentados os factores determinantes para inovação, posteriormente a uma breve abordagem à natureza da inovação, à evolução ao longo dos anos da adopção da inovação e à influência da localização geográfica das empresas na inovação.

1.1 – A natureza da inovação

O termo inovação, possui várias definições “Cada autor apresenta uma nova definição, focalizando os elementos que o mesmo julga relevantes” [2]. No entanto o termo inovação refere-se usualmente a um dos seguintes conceitos:

- O processo de desenvolver um novo item.
- O processo de adoptar um novo item.
- O novo item (desenvolvido e adoptado).

Importa realçar que os três conceitos anteriormente referidos, não se desenvolvem separadamente, ou seja, por exemplo, a inovação no processo de fabrico levará provavelmente a alterações de produto, bem como o desenvolvimento de produto levará a alterações no processo de produção [3]. Outro critério de classificação prende-se com as categorias presentes na tabela 1 [4].

Resumindo, não confundindo com a definição de invenção – descoberta científica com vantagem técnica sobre o actual estado da arte; a inovação não é mais do que transformar uma vantagem técnica numa vantagem competitiva, isto é, o acréscimo de valor para o cliente [5].

Categoria	Definição
Incremental	Inovações com menor impacto económico, que ocorrem em geral continuamente.
Radical	Inovações com maior alteração técnica, que ocorrem em eventos descontínuos.
Novos sistemas tecnológicos	Conjuntos de inovações que pelo seu todo, conduzem a um maior impacto económico.
Mudanças de paradigmas técnico-económicos	inovações que conduzem a alterações de grande escala na sociedade.

Tabela 1 – Categorias de Inovação

1.2 – Perspectiva histórica da adopção de inovação

No período pós-guerra, era de grande consenso o facto de apenas as grandes empresas serem a fonte para a inovação [6], em que se afirmava que a capacidade de inovação aumentava com a dimensão da empresa.

Em 1970 *Georgescu-Roegan* [7], defendia que a inovação de produtos é o resultado de um processo baseado no princípio de combinação de inovações incrementais, onde têm o seu período mais forte, na fase inicial do ciclo de vida do produto (fase de adaptação e melhoria), que é seguida pela fase de crescimento, maturidade e eventualmente o declínio. No entanto em 1975 *Utterback e Abernathy* [8], afirmam que o processo de inovação de produto atinge o seu pico na fase de maturidade do ciclo de vida do produto (fig.1), sendo um processo contínuo e multi-departamental em todo o ciclo de vida do produto (subcapítulo 1.3) [1].

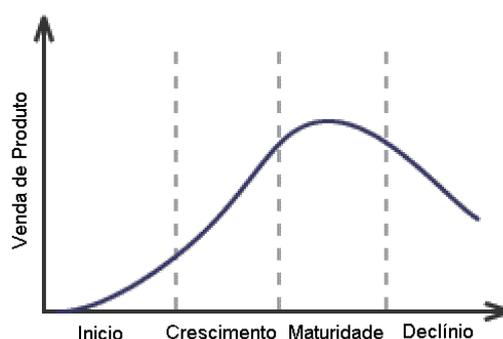


Figura 1 – Ciclo de Vida do Produto

De acordo com o aparecimento de numerosos estudos empíricos, no início dos anos 80, as PME's, dão importantes contributos para o processo de inovação geral da sociedade. De facto as PME's que não têm como mercado alvo a investigação e desenvolvimento, fornecem proporcionalmente à sua dimensão um nível de inovação significativo, pese embora a natureza

da inovação seja muitas das vezes incremental e não radical [9]. Em 1991 *Acs e Audretsh* [10], afirmavam que a produtividade de investigação e desenvolvimento (inovação por despesa de investigação e desenvolvimento) diminui com o aumento da dimensão da empresa.

Em 1995 *Cohen* [11], afirma que o retorno que permite o aumento do nível de inovação, aumenta com a dimensão da empresa, uma vez que os custos fixos de investigação e desenvolvimento associados à inovação, são divididos pelo maior volume de produção. No entanto para as PME's, existem outros factores mais específicos, nomeadamente o facto de beneficiarem mais do ambiente externo próximo da empresa, para a propensão à inovação, como abordado no próximo subcapítulo.

1.3 - Influência da localização geográfica na inovação de produtos

No que diz respeito à localização geográfica, a sua influência na inovação é notória nomeadamente no que ao desenvolvimento de produto como inovação concerne. As PME's são as empresas mais dependentes do contexto regional em que estão inseridas, em relação à adopção da inovação de produtos, em que as regiões periféricas conseguem proporcionar um ambiente de inovação, ao contrário do que acontece para as grandes empresas que necessitam de ambientes de riqueza e desenvolvimento oferecida pelos núcleos mais desenvolvidos financeiramente e tecnologicamente das grandes cidades [12].

No entanto, o facto do ambiente periférico ser propício a um ambiente de desenvolvimento de produto nas PME's, este é impulsionado pela tecnologia, enquanto para as grandes empresas esse mesmo desenvolvimento é impulsionado não só pela tecnologia mas também pelas necessidades do cliente [3].

1.4 – Factores determinantes na inovação de produto

O sucesso da inovação de produtos segundo *Docter* deve ter as etapas da tabela 2, integradas nos seguintes departamentos:

Etapas	Departamentos
Formação de ideias	<ul style="list-style-type: none"> • Investigação e Desenvolvimento • Design de Produto • Produção • Marketing
Adaptação económica	
Elaboração técnica	
Concretização	
Ajuste de parâmetros de produção	
Introdução no mercado	

Tabela 2 – Etapas e departamentos no sucesso da inovação

Na realidade é a investigação e o desenvolvimento o principal motor da inovação de produto, uma vez que têm como principal função, a exploração e assimilação da informação exterior [13]. Desta forma, uma empresa que adopte as etapas anteriormente referidas, terá maior facilidade na adaptação a mudanças constantes do mundo actual [14], em que a articulação entre os diferentes departamentos tem um papel fundamental no sucesso de todas as etapas [15], bem como o acesso a mão-de-obra formada e especializada por parte da empresa [3].

O factor diferenciador na inovação de produto actualmente, é o desenvolvimento de produto contínuo em todas as fases do ciclo de vida do produto (fig.2). As oportunidades e necessidades obtidas do mercado podem não só ser usadas para o desenvolvimento da próxima geração de produto, como também no próprio ciclo de vida do actual produto, isto é, a inovação contínua de produto [1]:

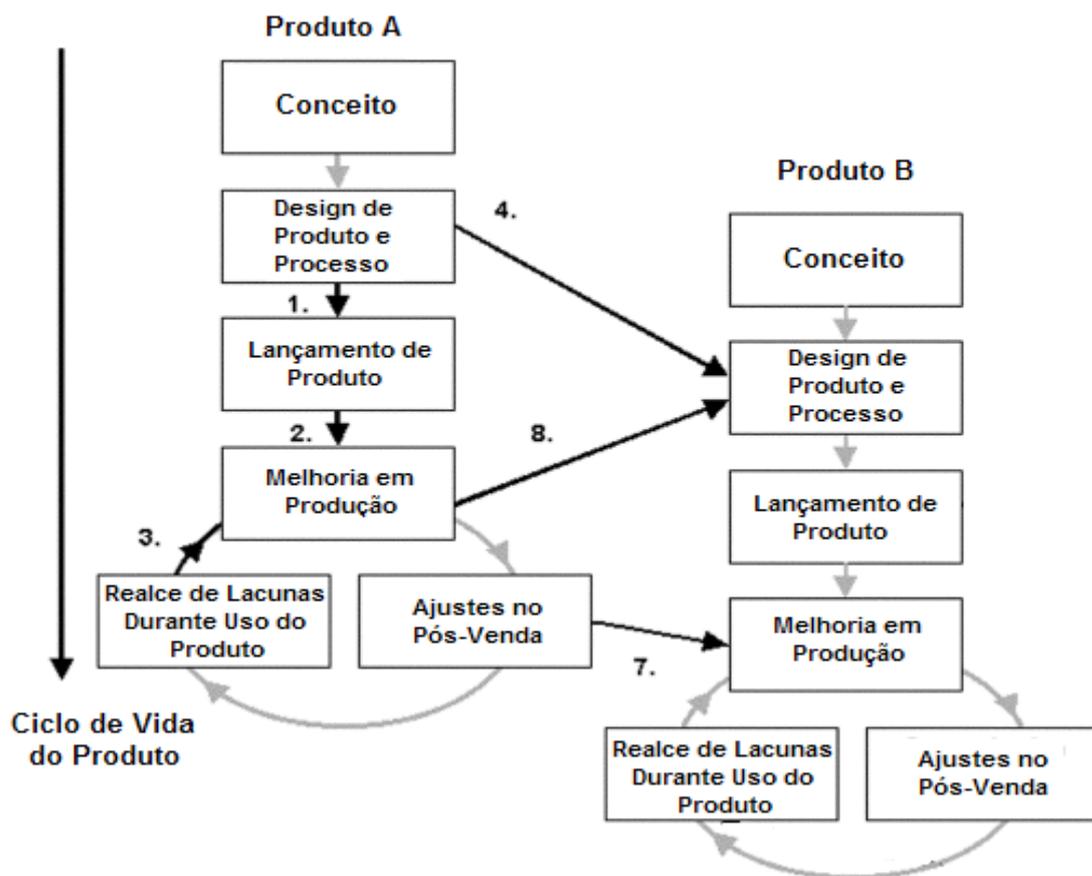


Figura 2 – Desenvolvimento de Produto contínuo

Em que as transferências de conhecimento deverão gerar um desenvolvimento contínuo, como exemplo na tabela 3:

1, 2, 3	Transferência de conhecimento entre diferentes fases de ciclo de vida num projecto de desenvolvimento de produto.
4	Transferência de conhecimento entre as mesmas fases em diferentes projectos de desenvolvimento de produto.
8, 7	Transferência de conhecimento entre diferentes fases e projectos de desenvolvimento de produto.

Tabela 3 – Transferências de conhecimento no desenvolvimento contínuo

2 – Desenvolvimento de Produto

Este capítulo tem por objectivo apresentar o processo de Desenvolvimento de Produto, definido como o conjunto de actividades que facilita a geração de inovação do produto, já que é o processo que permite perceber as necessidades do cliente, para melhor aplicar as vantagens técnicas (Engenharia), transformando-as em vantagens competitivas [16]. Nos subcapítulos seguintes serão abordados os factores de sucesso no Desenvolvimento de Produto, o seu processo não só genérico, mas também aplicado a um produto de produção intensiva na fase de maturidade do ciclo de vida do produto.

2.1 – Factores de Sucesso

O sucesso do Desenvolvimento de produto está dependente dos seguintes factores [17]:

Qualidade de Produto – O produto deverá satisfazer as necessidades do cliente, ao preço que estes estiverem dispostos a pagar.

Custo do Produto – O custo do produto deverá ser o mais baixo possível, dentro da qualidade requerida pelos clientes. Será o custo que irá definir o lucro para a empresa, para um determinado volume de vendas e para um determinado preço de venda.

Tempo de Desenvolvimento – O tempo de desenvolvimento do produto, avalia a capacidade da empresa para responder a pressões competitivas e tecnológicas.

2.2 – O Processo

O processo de Desenvolvimento de Produto, não possui uma estrutura rígida e única, no entanto apresenta-se uma abordagem ao processo genérico, constituído por seis fases de acordo com a figura 3 [18].

0 - A primeira fase, ou fase zero, é a fase de **planeamento**, que tem como objectivo estabelecer o mercado alvo para o produto, os objectivos de projecto, as suposições e os constrangimentos.

1 – **Desenvolvimento de modelos** é a segunda fase, onde várias alternativas são geradas, sendo um ou mais modelos seleccionados para posterior desenvolvimento e teste (caso de produtos concebidos de raiz).

2 – **Arquitectura do sistema** é a fase que consiste na decomposição do produto em subsistemas e componentes, ocorrendo logo na fase de desenvolvimento de modelos quando se trata do desenvolvimento de um produto na fase de maturidade do ciclo de vida (fig.0.1).

3 – **Detalhes de Design** correspondem à fase da especificação completa da geometria e material, de todas as partes que constituem o produto, juntamente com a identificação de todas os componentes normalizados a serem comprados a fornecedores. Como output esta fase fornece, os documentos CAD para fabrico do produto e das ferramentas necessárias, bem como o planeamento da produção. Esta fase poderá ser incorporada na fase de desenvolvimento de modelos, quando a simplicidade do produto assim o permita.

4 – A fase de **Testes e ajustes**, é aquela onde são construídos protótipos quer numa fase inicial onde a seu fabrico poderá não ser feito com o mesmo processo do usado na sua futura produção, quer numa fase final onde o protótipo já é fabricado com processos da sua produção, embora possa ser montado de forma diferente da planeada para a sua produção futura. Desta forma poderão ser detectados problemas que não eram detectáveis anteriormente.

5 – A fase de **Preparação da Produção**, tem como objectivo treinar as pessoas envolvidas na produção do produto e ajustar eventuais problemas no processo de produção.



Figura 3 – Processo Genérico de Desenvolvimento de Produto

Nos subcapítulos seguintes, apresenta-se especificamente o planeamento do produto, por ser o motor do processo de desenvolvimento de produto, bem como o desenvolvimento de

modelos, devido ao facto de este requerer maior coordenação entre as suas etapas e ser o núcleo do Desenvolvimento de Produto [18].

2.2.1 – Planeamento de Produto

O planeamento de produto identifica o tipo de produto a ser desenvolvido bem como o tempo de introdução no mercado. Para tal são identificadas oportunidades, são dadas prioridades a projectos, alocados meios e tempo para desenvolvimento, terminando com um plano de pré projecto (fig.4).



Figura 4 – Processo de planeamento de produto

Após a aprovação de um projecto associado a uma oportunidade, dá-se início a execução de um plano de pré-projecto depois de serem alocados os meios e estabelecidos prazos.

Plano de pré-projecto

Este plano consiste numa declaração de missão a efectuar, onde se resume a descrição do produto, os objectivos de projecto, o mercado alvo, as suposições e constrangimentos e as pessoas afectas ao projecto (“stakeholders”) (tab.4).

Descrição do produto	Inclui o benefício chave para o cliente, evitando apresentar conceitos específicos do produto.
Objectivos de projecto	Objectivos para tempo de desenvolvimento, para custos e qualidade do produto.
Mercado primário	Mercados com maiores volumes de vendas
Mercado secundário	Mercados de maior especificidade, associados a menores volumes de vendas.
Suposições e constrangimentos	Factores existentes que condicionam, quer por pressupostos, quer por constrangimentos, o desenvolvimento de produto.
“Stakeholders”	Lista de pessoas envolvidas no processo, desde o cliente – utilizador, aos quadros na empresa, de forma a considerar as necessidades de todos os que serão influenciados pelo produto.

Tabela 4 – Missão a efectuar

2.2.2 Desenvolvimento de Modelos

Uma vez que esta é a fase mais densa e nuclear do desenvolvimento de produto, é apresentado o seu processo. O processo inicia-se com a identificação das necessidades do cliente, seguido do estabelecimento de especificações, através das necessidades quantificadas e se possível do estudo de benchmarking. Seguidamente inicia-se a etapa da geração de modelos com base nas especificações estabelecidas, selecciona-se um ou mais modelos, efectuando-se testes na procura de eventuais problemas no produto e estabelecem-se as especificações finais.

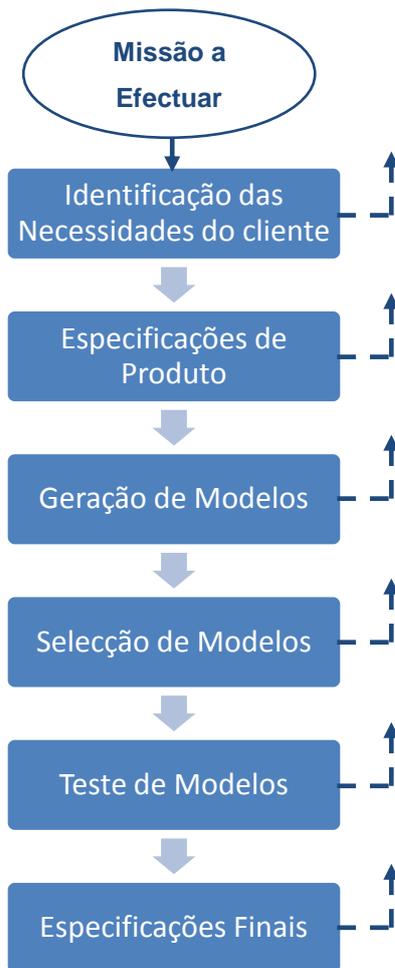


Figura 4 – Processo de Desenvolvimento de Modelos

O processo de desenvolvimento de modelos, torna-se muitas vezes iterativo devido à natural incerteza quando se avança no seu desenvolvimento. A qualquer etapa, poderão surgir novas informações, ou mesmo a aprendizagem ao longo do desenvolvimento, causa por vezes a repetição de uma etapa anterior conforme o fluxograma da figura 4.

Identificação das necessidades do cliente

A Identificação das necessidades do cliente consiste em três etapas (fig.5):

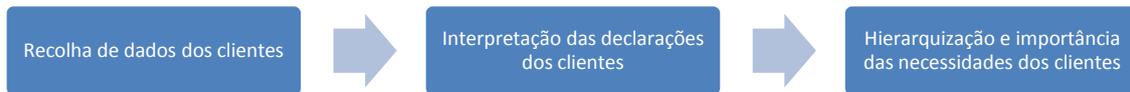


Figura 5 – Identificação das necessidades do cliente

A recolha de dados dos clientes é a primeira etapa, podendo ser realizada através de três métodos:

- Entrevistas – em que um ou mais elementos da equipa realizam entrevistas com apenas um cliente, preferencialmente no seu ambiente.
- Reuniões de grupo – onde um moderador lidera a discussão de um grupo de 8 a 12 pessoas durante cerca de 2 horas [19]. As reuniões poderão ser gravadas em vídeo.
- Observação do produto em uso – Observação de utilizadores a usar o produto. A observação pode ser passiva sem qualquer interferência directa com o utilizador, ou participando em conjunto no uso com o cliente.

O objectivo da recolha de dados é recolher opiniões sinceras das necessidades, e não tentar convencer o cliente de alguma necessidade. Deste modo nas entrevistas dever-se-á deixar fluir as declarações dos clientes sem intervir, não transmitir informações de como o produto vai ser concebido, acrescentando perguntas quando surge alguma necessidade não esperado (de modo a explorá-la). A demonstração por parte do consumidor deverá ser permitida, de modo a ser perceptível o que o este pretende transmitir [16].

A escolha dos clientes é crucial nesta etapa, sendo a identificação das necessidades mais eficiente quando se está perante utilizadores profissionais, já que têm maior probabilidade de descobrir necessidades, podendo inclusive ter inventado soluções para as necessidades latentes [20].

Interpretação das declarações dos clientes

A interpretação das necessidades do cliente, é fundamental na transcrição das necessidades já que segundo Griffin and Hauser [19], nas entrevistas, múltiplas análises podem conduzir a necessidades diferentes.

Desta forma deve-se expressar a necessidade sem referir nenhuma solução tecnológica (referida pelo cliente), referindo o que o produto deve fazer e não como fazê-lo.

Deve-se evitar o uso de termos de obrigação e dever, de modo a não atribuir importância à necessidade.

Hierarquização e importância das necessidades dos clientes

A hierarquização deverá ser feita, quanto se está perante um elevado número de necessidades relacionadas entre si. Desde modo as necessidades são classificadas de primárias e secundárias, conforme representem uma necessidade geral ou uma necessidade específica associada a uma necessidade geral.

A importância das necessidades pode ser atribuída através da experiência com os consumidores por parte dos membros da equipa, ou através de mais questionários a clientes.

Especificações de produto

As especificações de produto obtêm-se a partir de três etapas (fig.6). Após o levantamento das necessidades do cliente, procede-se à sua quantificação atribuindo valores alvo às necessidades. Seguidamente efectua-se uma caracterização, dos mesmos parâmetros dos quantificados nas necessidades do cliente, às molas concorrentes no mercado (benchmarking), para estabelecer intervalos ou limites aos valores alvo. Para facilitar este procedimento é recomendado o uso de quadros comparativos [18].

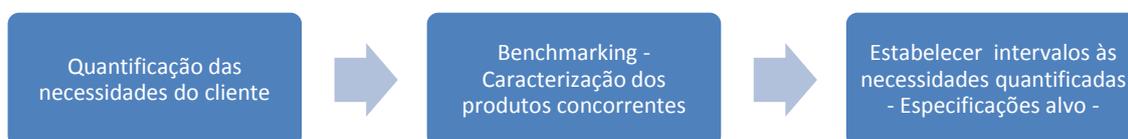


Figura 6 – Especificações de produto

Geração de modelos

A etapa da geração de modelos gera uma aproximação dos princípios de funcionamento, da tecnologia e da forma do produto, no caso de produtos desenvolvidos de raiz (inovação radical). No caso de melhorias incrementais com base em produtos já existentes no mercado, a geração aplica-se a modelos finais, prontos para serem testados e ajustados, uma vez que os princípios de funcionamento, tecnologia e forma já estão pré-definidos.

O processo de geração de modelos é resumido em 4 etapas, começando na clarificação do problema, com a compreensão do mesmo e decomposição em subproblemas, seguido da pesquisa interna e externa à empresa, através de patentes existentes, literatura especializada, de Benchmarking e contacto com profissionais, terminando na geração e exploração sistemática de conceitos (fig.7).

Para clarificar e decompor o problema (primeira fase do processo), deverão ser usados diagramas de fluxo de energia, de material e de sinais [21] gerais, bem como subfuncionais. Importa referir que não existe uma única forma correcta de criar um diagrama de funções e de subfunções, existindo no entanto duas aproximações (18):

- Decompor por acções de utilização do produto
- Decompor por necessidades do cliente

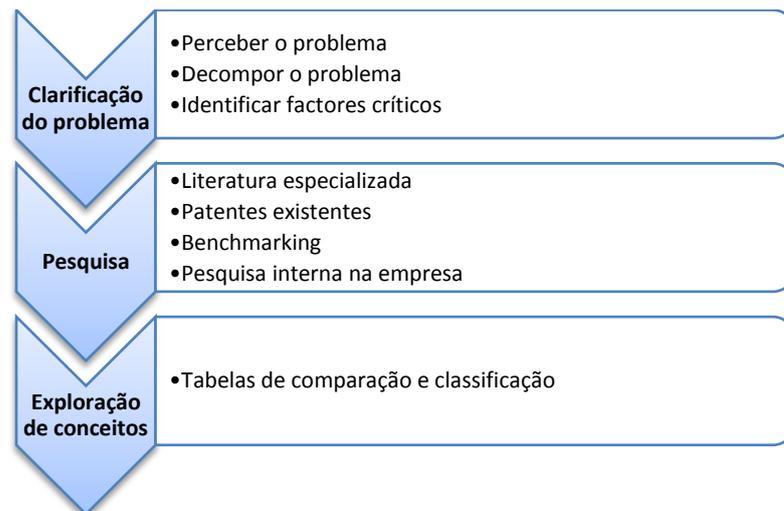


Figura 7 – Processo da geração de modelos

Após a clarificação do problema, a pesquisa externa e interna na empresa (recursos humanos para geração de conceitos), são explorados conceitos de forma sistemática, dependendo da complexidade do produto, em diagramas de “árvore” para classificação de conceitos, bem como em tabelas de decomposição e combinação de conceitos.

No caso de inovação incremental, poder-se-á aplicar de forma sistemática a técnica de Análise do Valor [22] na geração de modelos baseados em produtos já existentes, identificando quais as funções que conduzam ao maior valor acrescentado para posterior selecção (capítulo 3 da presente secção). As funções essas, que são identificadas com o auxílio das necessidades do cliente e do planeamento de produto.

Seleccção de Modelos

A selecção de modelos pode ser efectuada a partir de variados métodos, desde a decisão externa por parte do cliente ou de uma entidade, desde a opinião pessoal de um membro da equipa que desenvolve o produto (“product champion”), desde a simples intuição, desde pela votação de cada membro da equipa até às matrizes de decisão. O processo mais

estruturado consiste em métodos baseados em matrizes de decisão [18] donde se destacam os seguintes:

- Selecção de conceito Pugh
- Pontuação de conceitos (“*concept scoring*”)
- Análise do valor [22]

Na selecção de conceito Pugh, estabelece-se uma matriz com os conceitos e critérios de selecção (funções) como entradas da tabela. Posteriormente escolhe-se o modelo como referência de comparação, como por exemplo um modelo da concorrência ou um modelo padrão industrial. De seguida pontua-se cada conceito de +,0, -, correspondente a “melhor do que”, “o mesmo que” e “pior que” respectivamente. Após a pontuação, os modelos são classificados através da soma de toda a pontuação que cada modelo recebeu.

A Selecção através de concept scoring é adoptada quando é necessária maior resolução na pontuação para diferenciar os produtos entre si. É criada uma matriz idêntica à criada para a selecção pugh, onde como entradas se tem os conceitos a seleccionar e os critérios de selecção (funções). Seguidamente é dado um peso a cada importância através do consenso de equipa ou através das necessidades do cliente [23]. Posteriormente é escolhido um modelo de referência e pontuados os conceitos com uma escala de 1 a 5 ou superior caso seja necessário para diferenciar produtos. O valor de 1 significa muito pior do que a referência e 5 muito melhor que a referência. Após a pontuação atribuída, os conceitos são classificados através da soma total, da multiplicação da pontuação de cada função pelo seu peso (eq.1):

$$S = \sum(r_{ji} \cdot w_i)$$

Equação 1

S = Pontuação final (soma)

w_i = Peso da função i

r_{ji} = Pontuação do critério i para o conceito j

A selecção pela Análise do Valor (capítulo 3), selecciona os modelos pelo Valor mais alto, após a sua determinação através da qualidade total e custos totais. Desta forma está-se a seleccionar o modelo que acrescenta mais Valor, ou seja aquele em que a inovação resultante é mais significativa [22].

Teste de modelos

O teste de modelos possibilita a detecção de eventuais falhas que o modelo tenha, que não tenham sido possíveis de identificar, sem a simulação de situações de uso do produto. Deste modo é possível o seu ajuste antes do lançamento do produto, no caso de ser um desenvolvimento incremental, ou antes da definição da arquitectura de produto e detalhe das especificações, no caso de desenvolvimento radical [18].

Esta fase deverá conter as 5 etapas representadas no diagrama da figura 8:

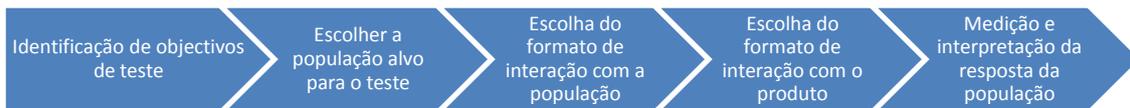


Figura 8 – Processo de teste de modelos

O objectivo do teste consiste em obter respostas para as seguintes questões:

- Como é que o conceito poderá ser melhorado, para melhor satisfazer as necessidades do cliente?
- Que alternativas de conceitos deverão ser seguidas?
- Quantas unidades poderão ser vendidas aproximadamente?
- Deverá o desenvolvimento prosseguir?

Posteriormente torna-se necessário, a escolha da população alvo para executar o teste, devendo esta pertencer ao mercado alvo identificado no planeamento de produto. A escolha do tamanho da amostra depende da fase de desenvolvimento de produto em que se está, dos custos e tempo de execução do teste, dos custos de investimento no desenvolvimento de produto (investimentos elevados levam a necessidade de amostras maiores) e da importância do tipo de produto para os consumidores (pouca importância significa necessidade de amostras maiores) [16].

Seguidamente dever-se-á escolher o formato de interacção com a população, podendo este ser através de “cara-a-cara”, telefone, correio postal, correio electrónico ou internet (sítios de internet concebidos para observação de conceitos desenvolvidos, ex: softwares).

O formato de interacção com o produto, ou seja a forma como o produto será descrito via cliente (população), deverá ser realizada através de descrição verbal, de esboços usualmente em perspectiva, através de fotografia e sequência de imagens ou através de vídeo. A forma como se irá interagir com o cliente condicionará o formato de interacção/descrição do produto [18].

A medição e interpretação da resposta da população. A medição das respostas do consumidor é efectuada usualmente através da seguinte escala:

- “Compraria definitivamente o produto.”
- “Provavelmente compraria o produto.”
- “Talvez comprasse ou não.”
- “Provavelmente não compraria.”
- “Definitivamente não compraria.”

Desta forma, esta etapa vai permitir obter as respostas para as questões iniciais a que se propôs esta fase de testes, através da interpretação das medições obtidas.

Especificações Finais

As especificações finais, são estabelecidas quando o processo de desenvolvimento de modelos termina, com a execução de testes e respectivos ajustes quando a empresa assim o permite, ou na fase de selecção de modelos.

2.3 – Adaptação do Processo genérico ao tipo de produto

O processo genérico de desenvolvimento de produto descrito na secção anterior (2.2), variará quando aplicado ao uma situação particular de produto e empresa, uma vez que é um processo baseado na situação mais abrangente, ou seja na situação de identificação de oportunidades e criação de um produto de raiz.

Para o caso de estudo, um produto de produção intensiva, na fase de maturidade do seu ciclo de vida em que as inovações são incrementais, o desenvolvimento de produto é constrangido pelo processo de produção. Tratando-se de um desenvolvimento de produto baseado num já existente, a fase de arquitectura do sistema é definida no desenvolvimento de modelos, uma vez que os princípios de funcionamento e as tecnologias base estão já predefinidos, estando o seu desenvolvimento centralizado em melhorar o modelo existente [18]. No caso de um novo processo este deverá ter o seu desenvolvimento em simultâneo com o desenvolvimento de produto [17].

3 – Análise do Valor

A análise do Valor é uma técnica de organização do processo de inovação, com o objectivo de simultaneamente minimizar os custos de produção e garantir um nível de qualidade que satisfaça as necessidades do cliente [22]. O valor é deste modo definido pela equação 2:

$$\text{Valor} = \frac{\text{Funções}}{\text{Custo}} = \frac{\text{Satisfação das Necessidades}}{\text{Custo}} = \frac{\text{Qualidade}}{\text{Custo}} \quad \text{Equação 2}$$

Entende-se por função a acção de um produto que corresponde a uma necessidade, sendo avaliado na determinação do Valor, a satisfação das necessidades do cliente, ou seja o que o produto faz, bem como o seu custo. Isto é, o Valor é aumentado sempre que se baixar os custos, mantendo a qualidade existente no produto (eq.2). Dito de outro modo, o Valor é aumentado aumentando a qualidade que o cliente necessita e está disposto a pagar.

As fases do método análise do valor estão apresentadas no diagrama da figura 9. O método inicia-se com a orientação e informação através, de um planeamento de produto como condutor de um processo de desenvolvimento e com a identificação das necessidades do cliente. Deste modo torna-se mais fácil a identificação das funções do produto, divididas em cinco categorias (tab.5). Com base nas necessidades percebidas e no consenso da equipa de desenvolvimento de produto (após discussão e tempestade cerebral), é atribuída importância às funções do produto. Posteriormente é realizada a análise funcional, através da decomposição dos custos e atribuição aos respectivos componentes e funções. Assim será possível analisar quais as funções que deverão ser alteradas para criação de mais Valor, possibilitando uma geração de modelos (na fase criativa) mais eficaz e menos morosa (com menos iterações), para a criação de maior Valor.



Figura 9 – Método de Análise do Valor

Depois de gerados os modelos com vista a um acréscimo de Valor, são seleccionados os modelos, nomeadamente aquele que possuir maior valor (maior competitividade), passando à fase de implementação e ajustes integrado no processo de Desenvolvimento de Produto apresentado no capítulo 2.

Funções Principais	Aquelas para as quais o produto foi planeado e concebido.
Funções Secundárias	Aquelas que são necessárias para a satisfação das necessidades principais ou que decorrem do uso do produto.
Funções Especiais	Funções que satisfaçam um desejo particular ou que diferenciem um produto
Funções Obrigatórias	Normas de segurança, ambientais etc.
Funções Inúteis	Funções que não estão associadas às necessidades, mas que possuem custo, podendo ser eliminadas com a Análise do Valor

Tabela 5 – Classificação de funções

III - Desenvolvimento de Produto como Inovação numa PME

1 – Metodologia adoptada

O presente estudo, tem como objectivo a inovação de um produto já existente – mola para roupa, cuja rede de distribuição e revenda, é mantida pela empresa Fapil, que por sua vez contrata o seu fabrico a uma empresa espanhola. Para tal, o estudo centraliza-se, no desenvolvimento do produto existente, tendo em conta o seu fabrico interno na empresa Fapil.

Deste modo para melhor compreensão do presente estudo, são apresentados nos subcapítulos seguintes, a metodologia geral, de Desenvolvimento de Produto e os pressupostos relevantes.

1.1 – Metodologia Geral

Neste estudo a metodologia geral adoptada (fig.1.1), começa necessariamente pelo **diagnóstico de produto**, com o objectivo de se efectuar um levantamento das características técnicas do actual produto, ou seja do seu desempenho a nível do comportamento mecânico e das suas funções, bem como do seu custo.

Segue-se a partir do diagnóstico de produto para o processo de **desenvolvimento de produto** subdividido em várias fases (fig.1.2), donde se destaca o planeamento de produto que conduz permanentemente o desenvolvimento de modelos, de forma a ser seleccionado um modelo final de acordo com a técnica de organização do processo de inovação – Análise do Valor.

Posteriormente é efectuada uma **análise comparativa dos modelos finais** obtidos na geração de modelos (subcapítulo integrante do desenvolvimento de modelos), onde é feita simultaneamente uma análise do valor e uma análise apenas de custos, em função do volume de produção, com o objectivo de comparar os resultados obtidos pelas duas abordagens.

Para finalizar este estudo, realiza-se uma análise introdutória ao **sistema de montagem** do produto, aplicando a fase inicial do processo de desenvolvimento de produto ao sistema de montagem, isto é: estabelecer as especificações atingir e gerar o conceito funcional. Caso seja necessário, são efectuadas modificações nos produtos seleccionados, aquando da geração do conceito funcional, regressando-se assim à fase de desenvolvimento de produto da mola para roupa. Desta forma fica criada uma base de partida para um trabalho futuro de desenvolvimento do sistema de montagem, tendo como base o conceito funcional do sistema para os produtos seleccionados neste estudo.

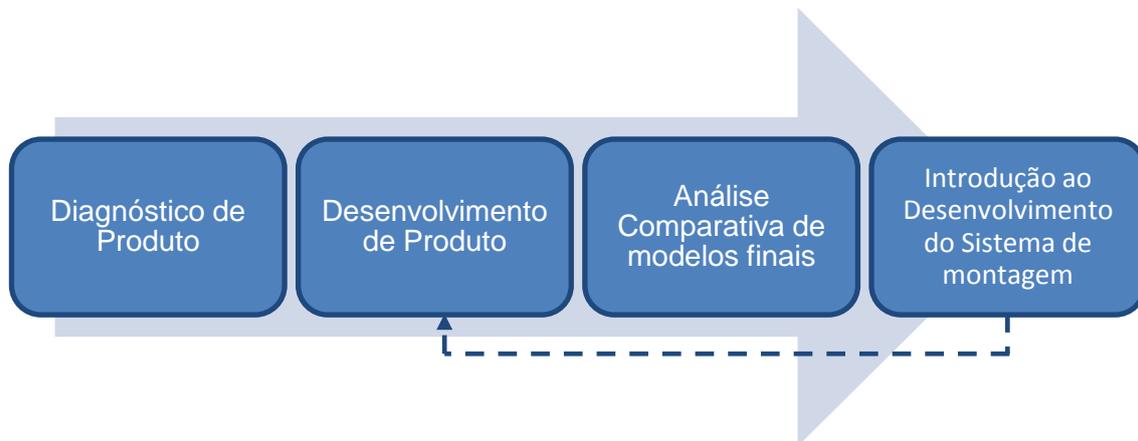


Figura 1.1 – Metodologia Geral

1.2 - Metodologia no Desenvolvimento de produto

O processo de **Desenvolvimento de Produto** (fig.1.2) é a etapa crucial da metodologia atrás apresentada (fig.1.1), que se inicia com o planeamento de produto, originando um plano da missão a efectuar, de forma a conduzir genericamente o desenvolvimento de modelos (desenvolvimento de produto propriamente dito). Por sua vez, o desenvolvimento de modelos subdivide-se por ordem cronológica, na identificação das necessidades do cliente, nas especificações de produto (com o objectivo de estabelecer as especificações atingir a partir das necessidades do cliente e de Benchmarking), na geração de modelos (de corpos de mola e fixadores – capítulo 2), onde se inclui o uso da técnica de análise do valor para ajudar na identificação de funções a melhorar, finalizando o processo com a selecção de modelos através da análise do valor, já que não foi possível efectuar testes [18].

Meios

Na elaboração deste trabalho, os meios relevantes, foram utilizados na reprodução em CAD da actual mola comercializada, na determinação experimental de forças dos fixadores, na avaliação do desempenho mecânico das molas e nos programas informáticos usados para a geração de modelos, reprodução do actual modelo (CAD e FEM) e comparação gráfica de modelos finais:

- **Reprodução da mola actual**, para efectuar medições das dimensões da mola, para posterior reprodução em CAD foi usada um paquímetro Digital Ultra 0 – 150 mm, com precisão de +- 0,01 mm.

- **Determinação experimental da força dos fixadores**, onde foi utilizada uma balança *Sartorius* de precisão +- 0,05g (fig.1.3), bem como um “engenho de furação” para simular a colocação de uma carga pontual:

- **Programas informáticos** para auxílio na reprodução/criação de modelos foi usado o programa *Solidworks* (CAD); nos cálculos para dimensionamento dos modelos (FEM) foi usado o programa *Cosmosworks* (FEM); para comparação gráfica de modelos finais foi adoptado o programa *Advanced Grapher version 2.11* - Copyright © 1998-2005 Alentum Software, Inc.

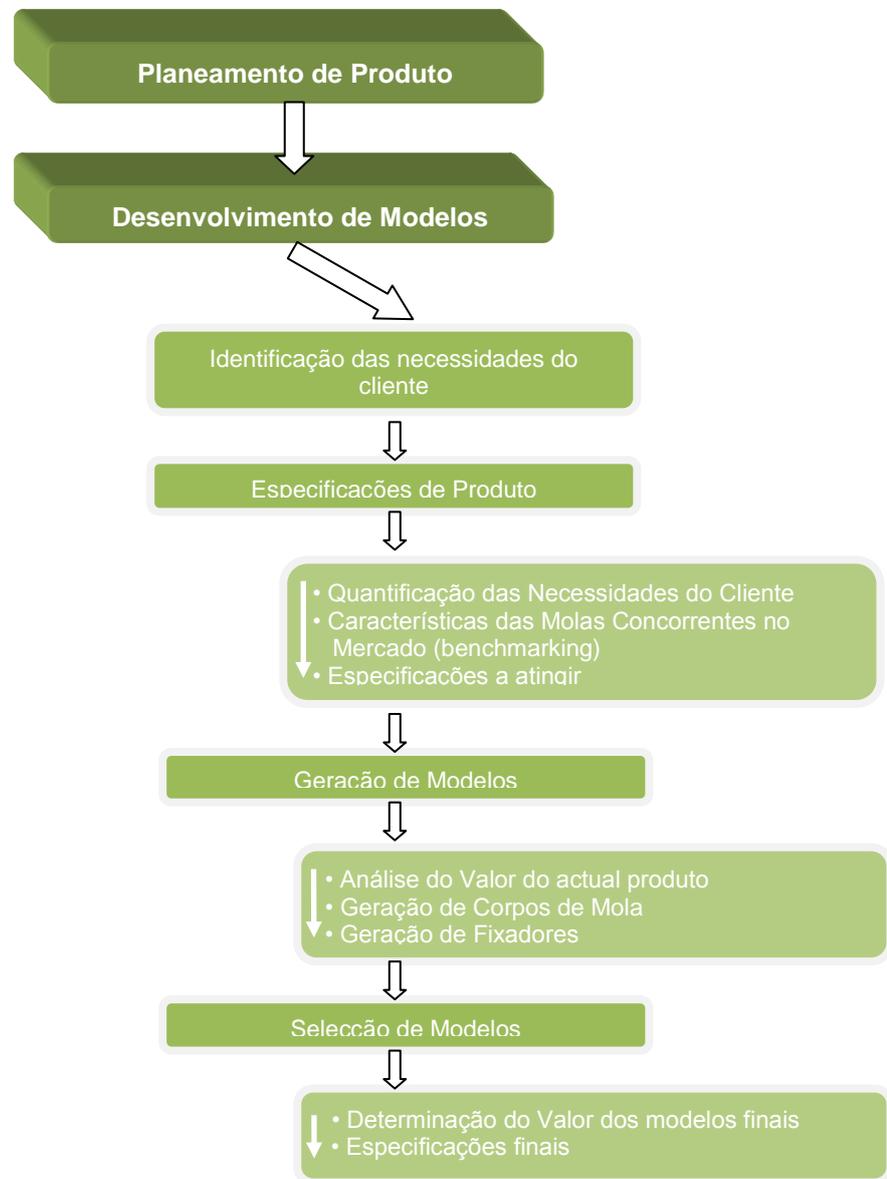


Figura 1.2 – Metodologia no desenvolvimento de produto



Figura 1.3 – Determinação experimental da força do fixador

1.3 - Pressupostos Relevantes

Neste estudo, existe o pressuposto de que esta é a fase de maturidade do ciclo de vida do produto, em que a inovação é incremental tendo como base o actual produto em comercialização. No entanto, apesar de a inovação não ser radical, esta torna-se mais relevante, uma vez que para além do desenvolvimento do produto existente, o fabrico deixa de ser contratado, passando a ser feito pela própria empresa Fapil, permitindo uma menor dependência de fornecedores e uma redução de custos mais acentuada. O fabrico interno apenas é permitido, devido a modificações resultantes do desenvolvimento de produto, uma vez que o actual produto é protegido por registo de design.

2. Diagnóstico do Produto

Neste capítulo, procede-se a uma análise da estrutura da actual mola, para permitir o levantamento das suas funções, seguido de uma introdução teórica de materiais poliméricos, para integração do leitor no levantamento dos materiais usados actualmente, terminando com a caracterização do seu desempenho e custos actuais. Desta forma fica diagnosticado o actual produto, como ponto de partida para o capítulo seguinte – Desenvolvimento de Produto [21].

2.1 - Estrutura

A estrutura da actual mola (fig.2.1) em comercialização está apresentada em baixo. É constituída por duas partes montadas simetricamente, que constituem o corpo da mola. As partes constituintes do corpo da mola estão fixas por uma banda, que permite a união das duas partes sendo responsável pela força de fixação da mola para roupa – fixador.



Figura 2.1 – Fotografia da mola actual

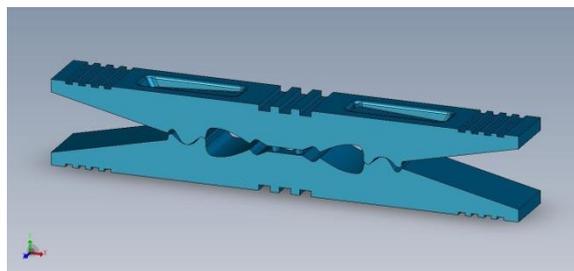


Figura 2.2 – CAD da mola actual

Para melhor se visualizar e perceber a estrutura e geometria da mola para roupa, mais especificamente as zonas de rotação/fixação, efectuaram-se os desenhos CAD do produto actual sem a banda fixadora (fig.2.2), executados com auxílio de um paquímetro, para melhor reprodução da sua geometria:

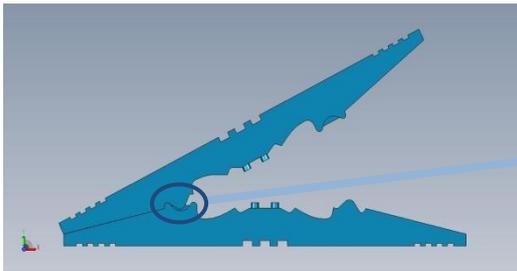


Figura 2.3 – Abertura máxima

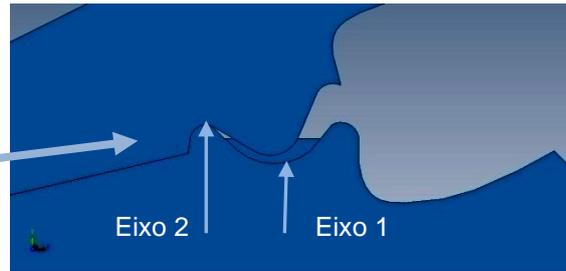


Figura 2.4 – pormenor dos 2 eixos de rotação

A mola actual, possui dois eixos de rotação (fig.2.4), de forma a ser possível um alinhamento dos extremos da mola, quer na posição inicial/repouso (fig. 2.2) quer na posição de abertura máxima (fig.2.3). Inicialmente, aquando da abertura da mola, é o eixo 1 o de rotação, sendo que próximo da abertura máxima, passa a ser o eixo 2 o de rotação. O ponto de fixação, é aquele onde se dá o primeiro contacto entre ambas as partes, quando a mola está a retornar à sua posição inicial (figura 2.2), ou seja o ponto equivalente ao eixo de rotação 1.

Desta forma será fácil verificar que, próximo da abertura máxima, o eixo de rotação ao deixar de ser o eixo 1, passando a ser o eixo 2, a força necessária para continuar a abertura aumenta significativamente, de acordo com um simples equilíbrio de momentos de força (em relação ao ponto de apoio/eixo de rotação). Analisando a equação 3 e a figura 2.5, é fácil verificar que a força de abertura necessária, aumenta com a deslocação do ponto de fixação para a extremidade (do eixo 1 para eixo 2), já que o denominador vai diminuir ($\downarrow a$) e o numerador aumentar ($\uparrow b$), para as restantes variáveis constantes [24].

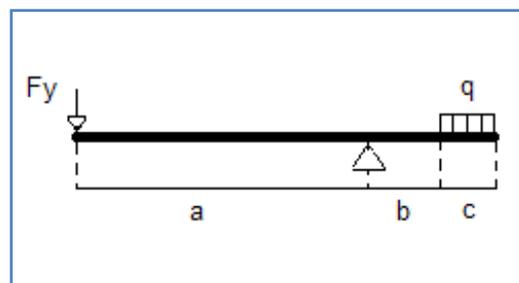


Figura 2.5 – Diagrama de corpo livre (abertura)

F_y = força de abertura; q = força distribuída do elastómero

$$F_y \cdot a = q \cdot c \cdot \left(b + \frac{c}{2} \right) \rightarrow F_y = \frac{q \cdot c \cdot (b + \frac{c}{2})}{a} \quad \text{Equação 3}$$

2.2 - Materiais

Neste capítulo, introduz-se o leitor na classe de materiais do produto actual – Polímeros, de forma a serem perceptíveis as vantagens relativas entre vários tipos de material dentro da classe dos polímeros. De seguida são apresentados os materiais constituintes da actual mola para roupa.

2.2.1 - Polímeros

Um polímero é uma molécula de um elevado peso molecular, formada por cadeias repetitivas simples (monómeros), ligadas quimicamente entre si, de modo a formar um sólido. Pode ser dividido em duas categorias: natural e sintético. A maioria dos polímeros sintéticos são compostos orgânicos (como o caso do polipropileno), ou seja compostos de carbono, com milhares de átomos de carbono e hidrogénio, obtidos pela união de monómeros à molécula em crescimento, uns de cada vez [25].

Os polímeros constituídos por um único tipo de monómeros, designam-se por homopolímeros, sendo assimétricos no caso do propileno. A adição de uma molécula a outra (para se obter polipropileno) faz-se através do método Ziegler-Natta (fig.2.6), um método que permite preparar selectivamente os isómeros em quantidades industriais, ou seja grupos R (radical livre, que no polipropileno é CH₃) definidos como um grupo de átomos com electrão livre que se pode ligar a outro electrão desemparelhado (livre) de outra molécula, que estejam dispostos todos do mesmo lado da cadeia polimérica ou alternadamente de um lado e de outro.

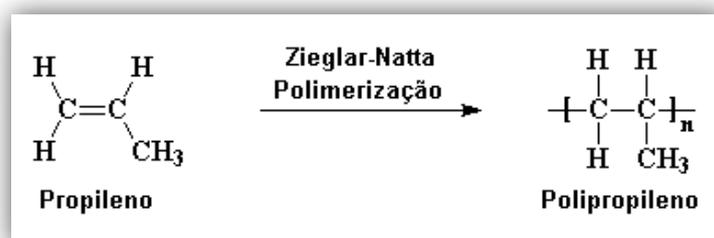


Figura 2.6 – Estrutura do polipropileno

No caso em que são usados dois ou mais tipos de monómeros, está-se perante uma copolimerização, por forma a serem atingidas determinadas especificações, podendo ir desde melhores propriedades químicas até melhores propriedades mecânicas (melhor rigidez, ou melhor resistência ao impacto), dependendo do(s) monómero(s) adicional na cadeia repetitiva.

Importa referir também, que existem duas classes de materiais poliméricos, com importância industrial, os plásticos e os elastómeros, que são precisamente os tipos de material usado no actual produto. Dentro dos plásticos importa referir duas categorias: termoplásticos (actual material) – necessitam de calor para serem enformados, mantêm a forma que adquiriram durante a enformação e não alteram significativamente as suas propriedades quando reaquecidos e reenformados em novas formas, possibilitando também a reciclagem; os termoendurecíveis – são enformados também com calor, mas de forma permanente, não sendo possível serem refundidos e reenformados, uma vez que se degradam e se decompõem quando reaquecidos a temperaturas elevadas [26].

Na categoria dos termoplásticos, independentemente de serem homopolímeros ou copolímeros, poderá proceder-se ao seu reforço, para se atingir determinadas especificações

(geralmente melhor resistência mecânica), através de variados processos, onde se realça o enchimento com minerais (ex. fibra de vidro), usado no actual produto.

Para além do reforço de polímeros e a criação de copolímeros, para satisfazer determinados requisitos, é possível a formação de ligas poliméricas, cada vez mais em uso, já que estas ligas são constituídas por misturas de homopolímeros estruturalmente diferentes ou copolímeros, permitindo a combinação de diferentes propriedades. Enquanto nos copolímeros, os dois monómeros estruturalmente diferentes, estão ligados entre si na cadeia molecular, através de ligações covalentes fortes, numa liga polimérica as cadeias moleculares de diferentes tipos estão ligadas através de forças secundárias dipolares. Desta forma, os diferentes componentes da liga, têm de possuir um certo grau de compatibilidade, de forma a evitar a separação das fases durante o processamento [25].

Quanto aos elastómeros, estes são uma classe de polímeros, que recupera rapidamente a sua forma e dimensões iniciais, quando submetidas a tensões mecânicas, ou seja como o próprio nome indica tem uma elevada elasticidade. De acordo com a norma DIN 53501, a definição de elastómero é [27]:

“Os elastómeros são materiais poliméricos reticuláveis, a temperaturas inferiores à sua temperatura de decomposição. São duros e tipo vidro a baixas temperaturas e não são sujeitos a fluxo viscoso a altas temperaturas. À temperatura ambiente, o comportamento é caracterizado pelos relativamente baixos valores de módulo de corte que são pouco dependentes da temperatura.”

Existem variados elastómeros, donde se destacam duas categorias: borracha natural e borrachas sintéticas. Nas borrachas sintéticas as mais comuns são (tabela 2.1), borracha de estireno-butadieno (SBR), borracha de nitrilo (NBR), viton, hypalon, etileno-propileno (epdm) e a borracha de silicone (VMQ).

Material	Composição/características
EPDM	Etileno Propileno Dieno Monómero de borracha. Resistente a produtos corrosivos e ozono, boas propriedades eléctricas, resistente à radiação, não resistente a químicos orgânicos (óleos).
Viton	Fluorelastómero. Resistente a químicos, ozono, ácidos e ao frio.
SBR	Estireno-butadieno. É resistente a ácidos (excepto oxidantes), a químicos inorgânicos. Excelentes propriedades eléctricas.
Hypalon	Poliétileno clorossulfonado. Resistente à oxidação, ozono, álcoois, ácidos concentrados, e químicos com excepção do cloro.
Silicone (VMQ)	Silício e oxigénio na cadeia principal, com grupos metilo e vinil adjacentes. Flexível a baixas temperaturas, boas propriedades mecânicas e eléctricas, excelente estabilidade a agentes atmosféricos, à radiação UV, ao calor, insípido, inodoro, degradável em contacto com ácidos.
NBR	Butadieno e acrilonitrilo. Boa resistência a químicos, óleos e solventes, ao calor e abrasão, baixa flexibilidade, preço elevado.

Tabela 2.1 – Elastómeros mais comuns

2.2.2 - Polímeros Utilizados

Começando pelas duas partes simétricas que constituem o **corpo da mola**, actualmente estas são compostas por um material polimérico, mais concretamente polipropileno homopolímero reforçado com 20% de mineral não especificado (tabela 2.2).

Fornecedor	Referência	Tensão de Cedência	Módulo de Elasticidade	Coefficiente de Poisson	Massa Especifica	HDT A/B
ExxonMobil Chemical	HMU 210 100000	34 MPa	2750 MPa	0,41	1,04 g/cm ³	65/119 °C

Tabela 2.2 – Material do corpo de mola actual

O facto de existir no polipropileno um grupo metilo (fig.2.6), em vez de um átomo de hidrogénio como no polietileno, faz com que este plástico seja mais resistente mecanicamente, embora menos flexível, já que este grupo vai restringir a rotação da cadeia polimérica. No caso de se estar perante um polímero reforçado, como o caso do actual produto, essa resistência virá ainda mais acrescida, como referido anteriormente.

No que diz respeito ao **fixador** (banda em volta do corpo da mola), este é constituído também por material polimérico, mais especificamente um elastómero – Silicone (VMQ) de dureza 40 Shore A. Neste caso o silício e o oxigénio são os constituintes da cadeia polimérica principal (tabela 2.3).

Tensão de rotura	Alongamento	Gama de temperaturas (período de 1000h)
10,9 Mpa	550 %	- 60°C → 240°C

Tabela 2.3 – Material do Fixador

2.3 - Desempenho e Custo

Neste capítulo, pretende-se diagnosticar o desempenho do actual produto, através do seu comportamento mecânico e dos seus custos. Deste modo será possível no capítulo seguinte de desenvolvimento de produto, estabelecer as especificações a atingir, relacionando o desempenho diagnosticado com as necessidades do cliente (que foram percebidas com uso do actual produto), fazendo também um estudo dos produtos concorrente (Benchmarking).

2.3.1 - Comportamento Mecânico

De forma a avaliar o comportamento mecânico, foi avaliada a deformada nos pontos de fixação, na extremidade da mola e foi determinado o coeficiente de segurança (relação entre a tensão máxima no modelo e a tensão de cedência do material) [28].

Para se obter tais valores, foi usado o programa de elementos finitos (Cosmosworks), para ser possível obter valores comparáveis, àqueles que se irão obter aquando da geração de modelos. Para se saber a pressão a usar no estudo em elementos finitos, foi necessário determinar a pressão exercida pelo elastómero experimentalmente, na condição mais exigente para o conjunto (fig.2.8).

2.3.1.1 - Determinação experimental da força do fixador e comportamento mecânico

Foram efectuadas medições em 11 molas, em ambas as extremidades, de forma a contabilizar o efeito da posição do elastómero (fig.2.8, tab.2.4). Procurou-se simular uma carga pontual, usando um engenho de furação (fig.3.7), em que a área de contacto da ferramenta com a mola para roupa é diminuta, o que permite uma boa aproximação a uma carga pontual (área de contacto infinitesimal).

Desta forma, o procedimento consistiu, no posicionamento da mola para roupa na superfície de uma balança de precisão (referida no capítulo 1.1), que por sua vez é posicionada no engenho de furação, por forma à ferramenta poder entrar em contacto com a mola para roupa. Deslocando a ferramenta, já em contacto com a mola para roupa, até à posição correspondente à abertura máxima, isto é até ao contacto entre as pegas da mola, obtém-se a força desejada (fig.2.7). Antes da medição do valor da força, a mola foi levada à posição de abertura máxima 10 vezes, de forma a estabilizar o comportamento do elastómero causado pelo efeito de Mullins [29].

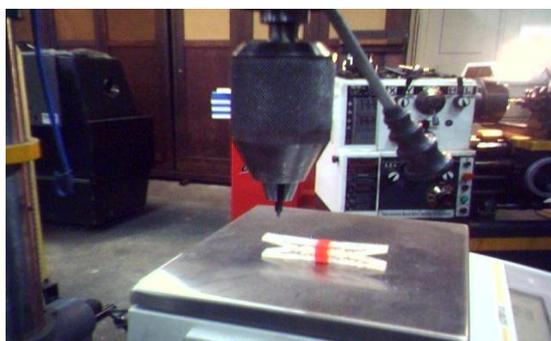


Figura 2.7

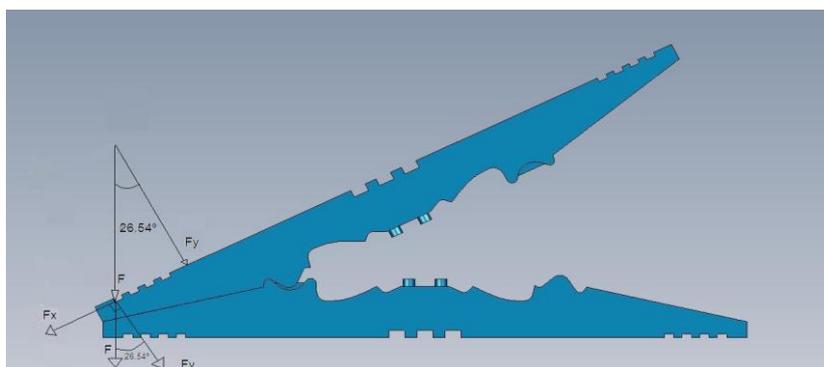


Figura 2.8

O valor obtido mais elevado, corresponde à medição 6 com o valor de 3,92 Kgf (tab.2.4). Usou-se assim o valor de 4 Kgf, para a força exercida pelo fixador (na posição correspondente à abertura máxima), arredondando por excesso a partir dos 3,92 Kgf obtidos, estando-se desse modo a projectar com maior segurança (condição extrema mais adversa) [28].

medição	Lado 1 (Kgf)	Lado 2 (Kgf)
1	3,62	3,73
2	3,51	3,68
3	3,70	3,85
4	3,73	3,75
5	3,87	3,54
6	3,80	3,92
7	3,76	3,46
8	3,60	3,50
9	3,23	3,22
10	3,65	3,52
11	3,42	3,67

Tabela 2.4 – Valores de Força medidos

Logo, o valor da pressão exercida pelo silicone pode ser obtida, através do diagrama de corpo livre (fig.2.5) e de acordo com a tabela 2.5 [24].

a (mm)	b (mm)	c (mm)	s (mm)	Fy (N)	P _{Elastómero} (MPa)
18,34	14,66	9,00	10,00	35,105	0,373362
$F = 4 \text{ Kgf} \rightarrow F_y = F \cdot g \cdot \cos(26,54^\circ) = 4 \times 9,81 \times \cos(26,54)$ Equação 4 $P_{\text{elast}} = q/s$ Equação 5 $P_{\text{elast}} \cdot ((c/2)+b) \cdot c = F_y \cdot (a)$ Equação 6					

Tabela 2.5 – Determinação da pressa exercida pelo fixador

Na tabela 2.6 apresentam-se os valores obtidos por elementos finitos com a pressão anteriormente calculada, onde as condições fronteira usadas no estudo, são também as correspondentes à pior condição de utilização (anexo 1).

Tensão de Von Mises Máxima (Mpa)	21,88
Coefficiente de Segurança	1,55
Deformada (y) na Extremidade (mm)	0,93
Deformada (y) na fixação (mm)	0,60

Tabela 2.6 – Comportamento mecânico do corpo mola actual

Outros parâmetros importantes, característicos da actual mola para roupa, para posterior comparação com os produtos concorrentes no mercado, são a força exercida pelo utilizador e a força exercida pela mola na zona de fixação. Estes valores podem ser facilmente determinados através de um simples diagrama de corpo livre, idêntico àquele usado para a determinação da força exercida pelo silicone (fig. 2.5), nas secções seguintes.

2.3.1.2 Força de abertura máxima

De forma, a ser possível a comparação dos valores do actual produto, com os posteriormente gerados e os da concorrência, foi definida como força de abertura máxima, a força exercida no ponto mais extremo da mola, correspondente ao lado contrário àquele que se pretende abrir (tab.2.7). Assim para a mola actual, a dimensão (a) vem acrescida de 2,5mm, em relação ao ponto usado para a determinação experimental da força do fixador (fig.2.5) [24].

a (mm)	b (mm)	c (mm)	s (mm)	q (N/mm)	F _{abertura} (N)
20,84	14,66	9,00	10,00	3,73362	30,89
$q \cdot ((c/2)+b) \cdot c = F_y \cdot (a) \rightarrow F_y \cong F_a$					Equação 7

Tabela 2.7 – Determinação da força de abertura máxima da mola actual

2.3.1.3 Força de Fixação

Agora, para os mesmos valores do ponto anterior (tab.2.7), calcula-se o novo F_y, correspondente à força de fixação na abertura máxima (tab.2.8 e fig.2.9) [24]:

b (mm)	c (mm)	d (mm)	s (mm)	q (N/mm)	F _{fixação} (N)
14,66	9,00	12,45	10	3,73362	17,83
$q \cdot c(c/2 + b) = F_y \cdot (b+c+d) \rightarrow F_y \cong F_{fixação}$					Equação 8

Tabela 2.8 – Determinação da força de fixação da mola actual

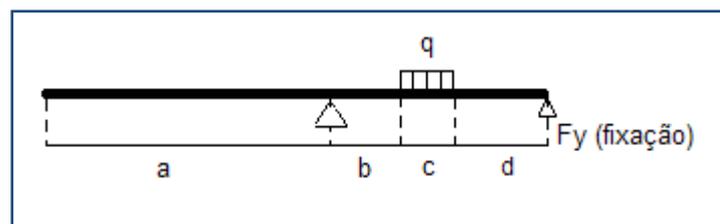


Figura 2.9 – Diagrama de corpo livre para força de fixação

2.3.2 – Custo

Nesta secção, descreve-se a situação actual da empresa Fapil, contextualizando o presente estudo, para de seguida se perceber melhor o custo da actual situação de contratação da mola para roupa.

Situação actual da empresa Fapil

A empresa Fapil – Indústria de Escovaria, S.A., dedicada à produção de vassouras, escovas, esfregonas e artigos de sanitários, é constituída por 100 colaboradores (desde o operário fabril à administração) com idade média de 31 anos, possuindo uma facturação de 10.000.000 € / ano. A sua localização é no Distrito de Lisboa, mais concretamente no Concelho de Mafra, na Freguesia de Malveira, possuindo também uma delegação na zona do grande Porto e outra no Algarve.

O último grande investimento da empresa foi a aquisição de uma máquina de injeção de plástico, que veio aumentar capacidade de produtos produzidos, reduzindo a dependência de fornecedores. Trata-se de um equipamento de marca Sandretto, que permite a produção do produto em causa (mola para roupa), ou seja a injeção em material polimérico (quer os chamados plástico quer as borrachas).

A empresa na sua organização interna é constituída por 10 pequenos departamentos, não apresentando nenhum departamento, nem recursos humanos para um processo de desenvolvimento de produto, o que leva à contratação do fabrico do já desenvolvido produto - mola para roupa numa empresa sediada em Espanha. A introdução de novas gamas de produtos tem sido efectuada por via de recursos internos, de desenvolvimento de parcerias com empresas e entidades externas, colaborando no desenvolvimento de produtos e sua produção de modo a satisfazer as necessidades dos clientes. Desta forma a colaboração com uma entidade externa, nomeadamente uma instituição de ensino superior, vem permitir a partilha de conhecimentos entre as duas partes envolvidas (Empresa/Universidade), sendo avaliado neste estudo o valor acrescentado que o desenvolvimento de produto como inovação nesta empresa, causa.

Custo

O custo que a empresa Fapil tem com a contratação do fabrico, embalagem e direitos do actual produto é apresentado na tabela 2.9. A produção inicialmente prevista pela empresa, é de 2.400.000 produtos num ano, valor que servirá de referência de comparação, para as análises efectuadas nos capítulos seguintes.

Custo / mola	Custo de 2.400.000 molas (1 ano)
0,05 €	120.000 €

Tabela 2.9 – Custo de contratação da mola actual

O custo apresentado na tabela 2.9, será o usado como o “break even point”, a partir do qual o custo de produção na empresa Fapil não representa redução de custos, face ao contratado actualmente (capítulo 4, 5 e 6).

3. Desenvolvimento de Produto

Este capítulo consiste na aplicação do Desenvolvimento de Produto à mola para roupa, efectuado, após ter sido feito o diagnóstico de produto. O processo de desenvolvimento em causa, para o caso de estudo, consiste em duas fases gerais – Planeamento de Produto e Desenvolvimento de Modelos [18].

O desenvolvimento de modelos para a mola, é efectuado com o devido planeamento, tendo como requisitos as necessidades do cliente, que posteriormente são refinadas (limitadas) com o estudo de Benchmarking. Seguidamente são gerados os modelos de mola de acordo com as especificações e de acordo com a técnica de Análise do Valor, que permite perceber quais as funções a melhorar, de forma a aumentar o Valor do produto – critério de selecção adoptado no subcapítulo final de desenvolvimento de produto para a selecção de modelos.

3.1 - Planeamento de Produto

Tratando-se do planeamento de um produto já existente, ou seja está-se perante melhorias incrementais, bem como a sua produção parcial, montagem e embalagem, as fases de planeamento adoptadas consistem na identificação de oportunidades e no plano de pré-projecto.

Identificação de oportunidades

As oportunidades já foram identificadas, aquando do início da preparação, da comercialização do produto, pese embora contratado. Trata-se da oportunidade de liderança no mercado de molas para roupa (um produto de consumo intensivo), através da diferenciação, no uso de materiais amigos do utilizador (confortáveis ao toque) que permitam o uso no meio ambiente sem a ocorrência de ferrugem e a possibilidade de fixação em ambas as extremidades da mola.

No entanto as oportunidades nesta fase, podem ser obtidas passivamente, por simples percepção do ambiente, quer externo, quer interno à empresa. O capítulo seguinte (3.2.1) é exclusivamente dedicado às necessidades do cliente, este sim focado em identificar as necessidades/opportunidades dos clientes/empresa.

De realçar, o facto da identificação de oportunidades ser contínuo, isto é, irá ser sempre actualizado durante toda a fase de desenvolvimento de produto, conforme sejam percebidas novas oportunidades.

Plano de Pré-projecto

Este plano deve acompanhar permanentemente, toda a fase de desenvolvimento de produto, de forma a evitar a divergência, dos objectivos inicialmente traçados. Deste modo na tabela 3.1, está apresentado a missão a efectuar no desenvolvimento de produto após entrevista com colaboradores da empresa Fapil:

Descrição de Produto	<ul style="list-style-type: none">• Mola para Roupa, com fixação em ambas as extremidades.
Objectivos de Pré-projecto	<ul style="list-style-type: none">• Baixar custo do actual produto de acordo com as necessidades do cliente, para poder ser usado em campanhas de preço baixo.
Suposições e constrangimentos	<ul style="list-style-type: none">• Manter a base e o conceito do actual modelo de mola.• Fabrico das duas partes constituintes do corpo da mola por injeção de plástico.• Importação da matéria-prima.• Contratação do fabrico do fixador.

Tabela 3.1 – Missão a efectuar

3.2 - Desenvolvimento de Modelos

Nesta fase, são identificadas as necessidades do cliente, com o objectivo de se identificar aspectos a melhorar no produto, bem como identificar características que o produto já possua, que sejam satisfatórias para os clientes. Deste modo é possível estabelecer requisitos essenciais (com o auxílio da quantificação das necessidades) para a geração de modelos. Seguidamente, analisa-se as molas concorrentes (benchmarking), de modo a limitar os requisitos técnicos estabelecidos nas necessidades do cliente, bem como acrescentar limites que não tenham sido identificados nas necessidades do cliente. Posteriormente são gerados modelos respeitando as especificações a atingir e melhorando as funções identificadas com a técnica de Análise do Valor. Por fim selecciona-se no capítulo de selecção de modelos, aquele com maior Valor (capítulo 1.1.2).

3.2.1 - Identificação das Necessidades do Cliente

O processo utilizado para as necessidades do cliente consistiu na recolha de dados dos clientes, seguida da respectiva interpretação, acabando na hierarquização das necessidades do cliente.

Recolha de dados dos clientes – Esta tarefa dividiu-se em duas fases, a primeira correspondente a entrevistas, a segunda correspondente à observação em utilização do produto, para ser possível perceber as necessidades dos clientes com maior precisão [18].

A primeira fase consistiu na realização de entrevistas informais (verbais e posteriormente registadas por escrito) com utilizadores do produto, de forma a garantir a relação próxima do cliente com o produto. Foi também tido em atenção, o facto de existirem utilizadores intensivos do produto (contabilizou-se 2 entrevistas a empregadas domésticas), onde o contacto cliente/produto é o mais próximo, permitindo assim identificar necessidades que, só com o uso intensivo poderão ser notadas (uso profissional), ou mesmo estes utilizadores, já terem encontrado ou pensado soluções, para satisfazer as necessidades percebidas (acabou por não se verificar no caso de estudo).

A preparação da entrevista torna-se fundamental, já que se pretende respostas com a máxima honestidade possível. Não foi definido um número de entrevistas à partida, optou-se sim, por dar como finalizadas as entrevistas, após estas fornecerem necessidades continuamente repetidas (tabela 3.2).

Pergunta	Declarações de Utilizadores
O que lhe agrada no produto?	<ul style="list-style-type: none"> - Prende nas duas extremidades. - É robusta, não é frágil. - Não se desmonta facilmente, quando utilizada. - Tem força, prende bem.
O que não lhe agrada no produto?	<ul style="list-style-type: none"> - Não prende logo nas extremidades. - É necessário avançar muito com a mola para prender. - É necessária muita força para a abrir. - É um pouco desconfortável, aquando da abertura. - Solta-se da mão quando se abre.
Tem sugestões de melhoria? Quais?	<ul style="list-style-type: none"> - Fixar logo nas extremidades. - A pega ser mais confortável.

Tabela 3.2 – Declarações de utilizadores

De salientar as técnicas usadas nas entrevistas:

- Deixar fluir as declarações dos consumidores, sem intervir de forma a não influenciar as suas opiniões.
- Não transmitir informações, de como vai ser projectado e produzido o produto, mesmo quando o cliente faça referência a determinadas tecnologias (hipóteses preconcebidas).

- Permitir a demonstração por parte do consumidor, para melhor compreensão da necessidade, principalmente em caso de incapacidade verbal de a descrever.

- Quando é declarada uma necessidade não esperada e surpreendente, acrescentar perguntas relacionadas com essa mesma necessidade, de forma a ser percebida.

Segue-se a segunda e última etapa, que se resumiu à observação do produto em utilização, por forma, a não só descobrir pontos a melhorar como a perceber as necessidades anteriormente apontadas nas entrevistas informais.

Interpretação das declarações como necessidades – Esta análise teve por objectivo, transformar as declarações dos consumidores, em necessidades do produto. Para tal foram usadas as seguintes técnicas:

- Expressar as necessidades sem referir nenhuma solução tecnológica eventualmente referida pelo consumidor, ou seja referir o que o produto deve fazer e não como fazê-lo.

- Evitar o uso de termos que impliquem obrigação ou dever, na transcrição da necessidade, de modo a evitar atribuir importância à mesma.

No entanto, a partir das declarações dos utilizadores, não só é possível retirar necessidades no produto, como também retirar características positivas que o produto – mola para roupa, já possui (tabela 3.3).

Resumindo em necessidades as interpretações realizadas:

- a) A mola permitir a fixação nos extremos, de cada lado, da mola.
- b) O Ponto de fixação da mola estar mais próximo da extremidade.
- c) A força de abertura da mola ser menor.
- d) As arestas da pega serem suavizadas.
- e) A pega ser ergonómica.

As quatro primeiras declarações do quadro anterior correspondem às características que agradam ao cliente. As seguintes são declarações associadas às características que não satisfazem o cliente, sendo as duas últimas declarações, correspondentes às sugestões de melhoria do produto. De facto, a última declaração torna-se redundante em relação às anteriores. No entanto entendeu-se apresentá-la, visto tratar-se de uma pergunta diferente, das anteriores, com vista a captar eventuais sugestões já pensadas, principalmente no que diz respeito a utilizadores intensivos, ou seja aqueles que durante mais tempo usaram o produto.

De realçar que, neste estudo foi entendido referir as necessidades dos clientes, como as características que o produto ainda não possui, tendo no entanto em atenção, o facto de qualquer alteração com vista ao cumprimento das necessidades, poder influenciar as características do produto já existentes, que satisfazem o cliente.

Declarações de Utilizadores	Interpretação
Prende nos dois lados da mola.	Permite a fixação em ambos os lados da mola.
É robusta, não se entorta.	Não se deforma muito quando utilizada.
Não se desmonta facilmente, quando utilizada.	O conjunto possui elevada “rigidez” lateral.
Tem força, prende bem.	Possui elevada força de fixação.
Não prende logo nas extremidades.	Não é possível, a fixação nos extremos de cada lado, da mola.
É necessário avançar muito com a mola para prender.	Os pontos de fixação estão afastados das extremidades.
É necessária muita força para a abrir.	A força de abertura da mola é elevada.
É um pouco desconfortável, aquando da abertura.	Pega é áspera.
Solta-se da mão quando se abre.	Pega não é ergonómica.
Prendesse logo nas extremidades.	Poderia prender nas extremidades, de cada lado, da mola.
Pega menos rugosa.	Poderia ter uma pega com arestas mais suaves.
A abertura da mola ser mais fácil.	Poderia além de ter uma pega mais suave e ergonómica, ter uma força de abertura menor.

Tabela 3.3 – Interpretação da declaração de utilizadores

Hierarquização das necessidades – Dado que não se está perante um número elevado de necessidades, não foi necessário organizar as necessidades por grupos, nomeadamente por tipo de necessidade.

Em relação à necessidade a), esta foi abandonada à partida, uma vez que vai contra ao planeamento de produto inicialmente estabelecido. Isto deve-se ao facto, de para a mola permitir a fixação nos extremos de cada lado da mesma, não ser possível existir braço de força suficiente para a abertura da mola.

Em relação à necessidade b), esta vai contra a necessidade c), já que à medida que o ponto de fixação (eixo de rotação) se desloca para a extremidade, maior é a força necessária

para a abertura da mola (o braço da força diminui). No limite a necessidade b) não permite a realização do produto inicialmente descrito na missão a efectuar (mola com fixação em ambas as extremidades), uma vez que não seria possível a sua abertura. Deste modo é necessário um compromisso entre a necessidade b) e a necessidade c).

Embora o facto de se optar por uma necessidade em detrimento de outra, revele diferentes importâncias, a verdade é que o planeamento do produto, mais concretamente a missão a efectuar, tem sempre prioridade sobre qualquer necessidade, sob pena de se divergir dos objectivos iniciais, estando-se desse modo a conceber um diferente produto, daquele que se inicialmente descreveu e que levou a que este estudo fosse realizado.

3.2.2 - Especificações de Produto

Neste capítulo, pretende-se estabelecer metas, para a geração de modelos, mais concretamente a nível técnico (quantitativo) e não a nível qualitativo, a partir das necessidades do cliente, de forma a satisfazê-las, bem como a partir de dados de produtos concorrentes.

3.2.2.1 - Quantificação das necessidades do cliente

A partir dos valores obtidos, no capítulo de diagnóstico de produto, é possível quantificar os objectivos de cada necessidade do cliente, de acordo com a tabela 3.4:

	Necessidade	Quantificação
b	O ponto de fixação estar mais próximo da extremidade.	$a < 0,01834 \text{ m}$
c	A força de abertura da mola ser menor.	$F_a < 30,89 \text{ N}$
d	As arestas da pega serem suavizadas.	$R < 0,5 \text{ mm}$
e	A pega ser ergonómica.	Cota superficial negativa (concauidade)

Tabela 3.4 – Quantificação das necessidades do cliente

Todos os valores, com excepção do correspondente à necessidade (d), foram identificados no diagnóstico de produto. Facilmente se compreende o valor do raio de curvatura máximo estabelecido (0,5 mm), já que as faces em relevo na pega da mola possuem 0,5 mm de altura (saliência em relação à superfície da pega), o que com um raio de curvatura aplicado às mesmas superior a 0,5 mm, causaria perda de altura (saliência), reforçando desse modo ainda mais a necessidade (e) (tabela 3.3 e 3.4), já que causaria ainda menos aderência da pega do que actualmente.

Quanto à necessidade (e), não foi possível quantificar numericamente a mesma, porque se trata de tornar a pega ergonómica, ou seja não existe uma dimensão característica

previamente definida, a não ser a necessidade de se efectuar um relevo “negativo”, isto é, com cota negativa em relação à superfície que caracteriza a pega.

3.2.2.2 - Especificações de produtos concorrentes

Nesta fase, o objectivo consiste em identificar as especificações dos produtos concorrentes (tab.3.5), onde foram determinadas experimentalmente as forças dos fixadores, para analiticamente se determinar também as forças de abertura e fixação.

Com o mesmo procedimento e meios usados para a determinação experimental da força do fixador para o actual produto (ver anexo 2), foi possível obter a força de abertura e fixação para sete molas concorrentes no mercado, como apresentado na tabela 3.6.

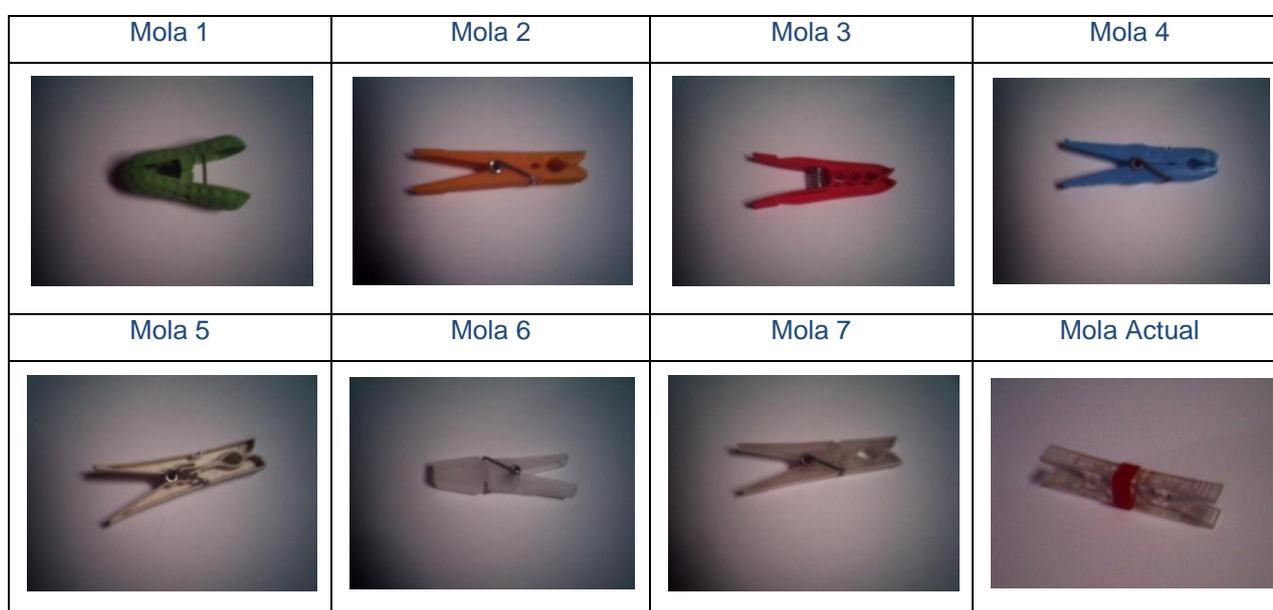


Tabela 3.5 – Fotografias das molas concorrentes de mercado e mola actual

Mola	1	2	3	4	5	6	7	Actual
Força de Abertura (N)	15,82	7,69	12,96	14,20	16,98	15,21	23,90	30,89
Força de Fixação (N)	17,79	8,37	21,25	13,16	14,30	12,33	20,12	17,83

tabela 3.6 – Forças das molas concorrentes e da mola actual

Para além das forças associadas a cada mola da concorrência, procedeu-se à medição da deformada em y , de cada mola através do seguinte procedimento:

Passo 1 – Registo do $y_{\text{máximo}}$ (altura), correspondente à extremidade da mola, de cada mola para roupa na posição de abertura máxima, sem o respectivo fixador, através de uma folha de papel milimétrico.

Passo 2 - Repetir o passo anterior, na mesma folha, mas desta vez, acrescentando o respectivo fixador a cada mola para roupa. Registrar a diferença de valores entre a altura registada, sem fixador e com fixador, de forma a obter-se a deformada em y, para cada mola.

É importante referir, que para todas as molas de referência, a extremidade corresponde também ao ponto de fixação, o que não acontece na mola actual, devido ao facto de ser uma mola estruturalmente diferente (fixação nas duas extremidades). Na tabela 3.7 apresentam-se os valores obtidos, verificando-se uma enorme disparidade de valores.

Mola	1	2	3	4	5	6	7	Actual
Deformada (y) na extremidade (mm)	5,0	1,5	3,5	1,5	0,5	5,0	0,5	0,9

Tabela 3.7 – Deformada das molas concorrentes e da mola actual

Analisando a tabela 3.7, optou-se por excluir o valor de 5,0 mm de deformada, como referência de limitação para as necessidades do cliente, uma vez que ao se ter verificado que os dois produtos concorrentes com o valor de 5 mm de deformada, possuíam elevada instabilidade na abertura devido à elevada deformação (mesmo na pega, não permitindo uma abertura correcta da mola), o que não se verificou em mais nenhum produto concorrente.

De modo a ser possível a comparação entre os valores obtidos através do programa de elementos finitos e a realidade, efectuou-se também a medição da mola actualmente em comercialização, chegando-se à conclusão que de facto é uma boa aproximação o procedimento usado no programa de elementos finitos (capítulo 2.3.1.1 e anexo 1), uma vez que o valor obtido em elementos finitos é apenas cerca de 3% maior que o real.

3.2.2.3 – Especificações a atingir

Neste subcapítulo, pretende-se atribuir valores a parâmetros característicos da mola, com base nas necessidades do cliente, que constituem os requisitos essenciais, limitando-os com base nos valores dos produtos concorrentes - Benchmarking (fig.3.1).



Figura 3.1 – Metodologia das especificações a atingir

Resumindo na tabela 3.8 o intervalo de valores obtidos para os produtos concorrentes:

Parâmetro	Mínimo	Máximo
Força de abertura (N)	7,69	23,90
Força de fixação (N)	8,37	21,25
Deformada em y (mm)	0,5	3,50

Tabela 3.8 – Intervalo de valores medidos nas molas concorrentes

Após a análise dos valores dos produtos concorrentes, é possível estabelecer as especificações para os modelos a desenvolver no subcapítulo seguinte. A especificação associada à maior proximidade do ponto de fixação com a extremidade (b) mantém-se inalterada, tendo em conta a natureza do produto que se pretende (fixação em duas extremidades), não sendo assim comparável ao valor das molas concorrentes ($a=0$).

As especificações (d) e (e), associadas às necessidades de suavização das arestas da pega e à sua ergonomia, mantêm-se também inalteradas, já que não existe termo de comparação com os produtos concorrentes analisados (tab.3.4 e tab.3.8).

A especificação correspondente à necessidade da força de abertura ser menor (c), é alterada, tendo em conta os valores registados das molas concorrentes, ficando-se assim com a meta de, pelo menos a força de abertura ser menor do que o pior caso das molas concorrentes.

Para além das especificações associadas às necessidades do cliente, são acrescentadas mais duas especificações, correspondentes à deformada na extremidade e à força de fixação, de forma a regular o comportamento da mola admissível.

Na tabela 3.9, apresentam-se assim as especificações a atingir pelos modelos gerados no subcapítulo seguinte.

Necessidade	Especificação	Quantificação
b	Ponto de fixação mais próximo da extremidade.	$d_f < 0,02234 \text{ m}$
c	Força de abertura menor.	$F_a \leq 23,90 \text{ N}$
d	Suavização das arestas da pega.	$R < 0,5 \text{ mm}$
e	Pega ergonómica.	Cota superficial negativa (concavidade)
-	Deformada na extremidade (y)	$u_y < 3,5 \text{ mm}$
-	Força de fixação	$F_f > 8,37 \text{ N}$

Tabela 3.9 – Especificações a atingir

Após o estabelecimento das especificações a atingir (tabela 3.9), conclui-se que a mola actual fica excluída à partida, como possível modelo a adoptar, mesmo com alterações a nível estético como forma de transpor a patente de design registada do actual produto. Tal deve-se ao facto de a mola actual possuir uma força de abertura superior ao estabelecido como requisito a atingir pelos modelos desenvolvidos neste estudo.

3.2.3 – Geração de Modelos

Neste ponto, pretende-se apresentar modelos de mola para roupa, a partir das especificações anteriormente estabelecidas. Este ponto é constituído por três secções, referentes à análise do valor do actual produto, à geração de corpos de mola e à geração dos fixadores correspondentes a cada modelo de corpo de mola criado.

A análise do valor, vai permitir quantificar o valor do actual produto, ou seja a relação satisfação das necessidades/custo, e vai permitir identificar potenciais funções a melhorar nos subcapítulos seguintes (geração de corpo e fixador), quer no custo quer no seu desempenho.

3.2.3.1 Análise de Valor do Actual Produto

Nesta secção aplica-se a Análise do Valor ao actual produto (fig.3.2) [22]. Inicia-se o processo com a identificação das funções do produto e com posterior atribuição de importância às funções, através de reuniões com colaboradores da Fapil aquando do planeamento de produto e através da identificação das necessidades do cliente – Matriz das funções.

Seguidamente contabilizam-se os custos do produto – Matriz dos Custos e discrimina-se os custos em relação às suas funções – Matriz Custo/Função. Deste modo é possível analisar quais as funções a melhorar do actual produto, verificando quais as funções/características que menos colaboram para o valor final do produto, de forma a identificar aquelas com maior necessidade de melhoria. A metodologia seguida nesta secção de análise do valor, está resumida no diagrama 3.2 a azul, correspondentes às etapas necessárias à análise funcional. As duas últimas etapas do diagrama (a vermelho) são apenas efectuadas no capítulo 3.2.4, apenas como comparação com os modelos gerados, uma vez que o modelo actual não corresponde às especificações a atingir (não constitui hipótese de selecção).

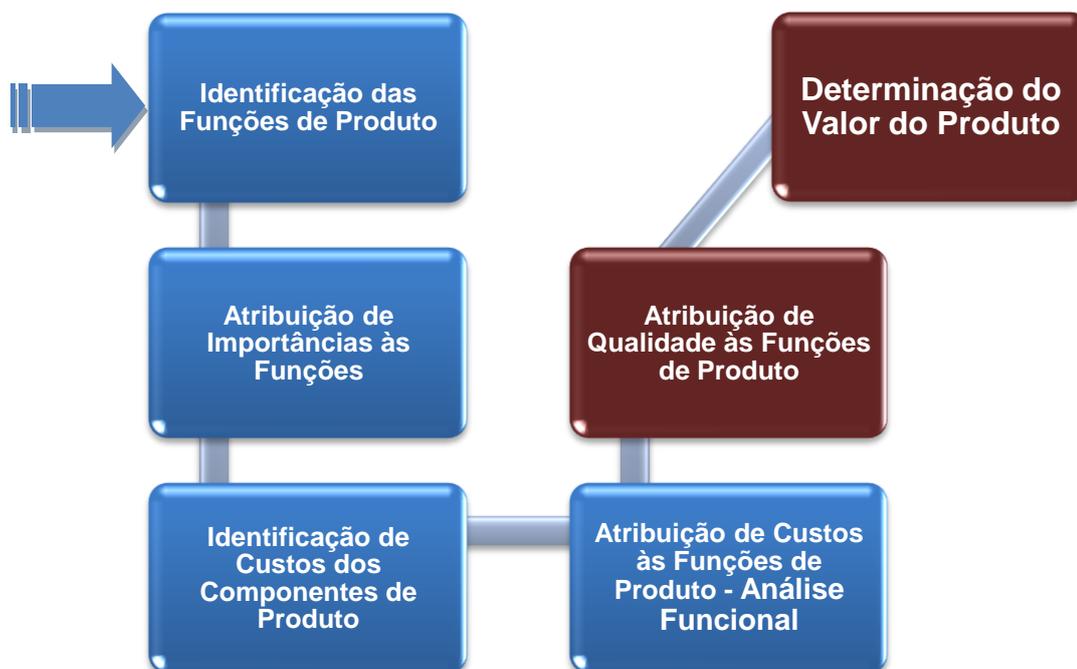


Figura 3.2 – Metodologia na análise do valor

Matriz das funções

As funções de uma mola para roupa (tab.3.10) foram identificadas com o auxílio das necessidades do cliente e do planeamento de produto. Entende-se por “prender roupa”, a função que descreve a capacidade de agarrar a roupa através da geometria do corpo da mola e da força exercida pelo fixador. A função “ser amigável” está associada, à capacidade de o produto ser ou não confortável e fácil de usar, através da força de abertura, de concavidades na pega e arestas suavizadas. Quanto à função “ser robusto”, esta consiste no nível de deformada do corpo da mola quando solicitada na abertura máxima, avaliando a capacidade da mola em deformação para lá do requerido ($< 3,5$ mm). Por último a função “ser estético”, a mais subjectiva, avalia o desenho exterior do produto, a harmonia entre arestas exteriores (ex. raios de curvatura).

Na tabela 3.11, encontram-se as funções classificadas com a importância relativa, obtidas igualmente com o auxílio do planeamento de produto e das necessidades do cliente.

Categoria de Função	Principais	Secundárias
Descrição	Funções para as quais o produto foi concebido.	Funções necessárias para a satisfação das funções principais, ou decorrentes do uso do produto.
Funções	<ul style="list-style-type: none"> • Prender roupa 	<ul style="list-style-type: none"> • Ser amigável • Ser robusto • Ser estético

Tabela 3.10 – Identificação de funções

Função		B	C	D	Soma	%	% corrigida	Classificação
Prender roupa	A	A1	A2	A3	6	54,5	53,4	1º
Ser amigável	B		B1	B2	3	27,3	26,8	2º
Ser Robusto	C			C2	2	18,2	17,8	3º
Ser estético	D				0	0	2,0	4º
Total	→				11	100,0	100	
A1 – “A é pouco melhor do que B” (no caso da 3ª coluna e 2ª linha) B2 – “B é melhor do que D” (no caso da 5ª coluna e 3ª linha) A3 – “A é muito melhor do que D” (no caso da 5ª coluna e 2ª linha)								

Tabela 3.11 – Importância de funções

Pela análise efectuada na tabela 3.11 é possível verificar, que a função mais importante é a principal com uma importância relativa de 53,4% (a soma de todos os “A” é de 6), seguindo-se a função – ser amigável com 26,8% de importância, ser robusto com 17,8% de importância e a função – ser estético com 2% de importância.

Matriz dos custos

Embora se esteja perante uma produção externa (contratada), a análise a efectuar nesta fase para o actual produto, pressupõe a produção interna na empresa Fapil, inclusivamente para posterior comparação do valor da actual mola, com os modelos desenvolvidos neste estudo.

Desta forma apresentam-se os custos por unidade da mola para roupa, tendo em conta a produção de 2.400.000 unidades (fig.3.3). O custo da matéria-prima inclui o custo do material polipropileno mais o custo do aditivo para cor, sendo que o custo apresentado do fixador representa o seu fabrico. O custo do molde para o actual produto (7335 €) e do aditivo para cor (0,05€ / Kg de Polipropileno) foram fornecidos pela empresa Fapil, sendo que o custo de fabrico do fixador e do material polipropileno foram obtidos pelos respectivos fornecedores, Elastómeros JV S/A e ExxonMobil Chemicals (tab.3.12).

<u>Matéria-Prima</u>	Volume de corpo de mola (1)	Massa específica (2)	Custo de material com ativo de cor (3)	Custo Total
	4021,22 mm ³	1,04 g/cm ³	(1,459 + 0,05) €/Kg	(1)x(2)x(3) = 0,01262 € / produto
<u>Molde</u>	Custo de Molde (1)	-	Volume de produção (2)	Custo Total
	7335 €		2.400.000	(1)/(2) = 0,003056 €
<u>Fixador</u>	Metro de fixador / mola (1)	-	Custo / metro (2)	Custo Total
	9x10 ⁻³ m		0,67 €	(1)x(2) = 0,00603€

Tabela 3.12 – Custos do produto actual

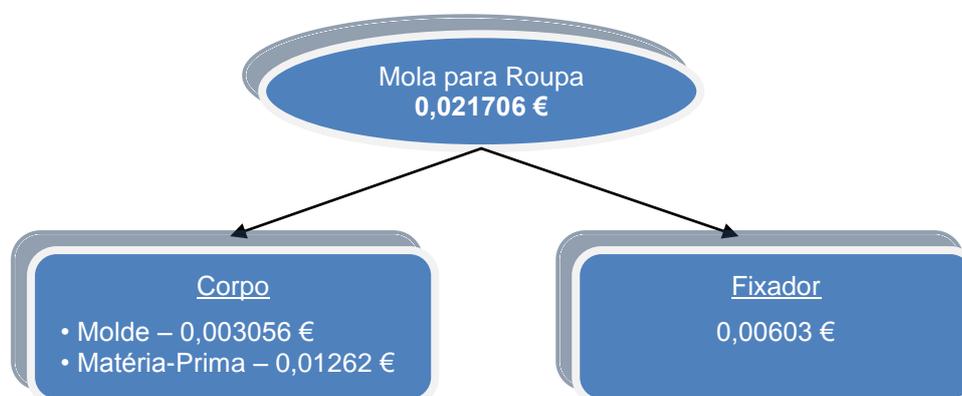


Figura 3.3 – Diagrama dos custos por componente actual

O custo de cada componente está representado no gráfico da figura 3.4:

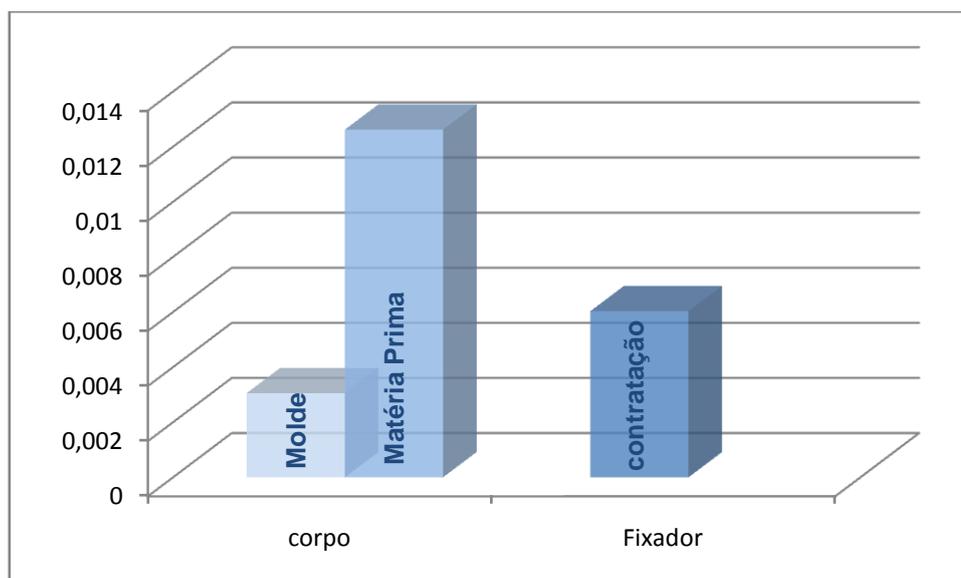


Figura 3.4 – Gráfico dos custos por componente actual

Sendo a produção do fixador subcontratada, não é possível especificar os seus custos, para além do custo total da subcontratação, ao contrário do que acontece com o corpo da mola, que consiste na matéria-prima para a injeção da peça (Polipropileno + aditivo para cor), mais o molde necessário para a mesma injeção.

A contribuição de cada componente de produto para o custo, está representada através no gráfico da figura 3.5:

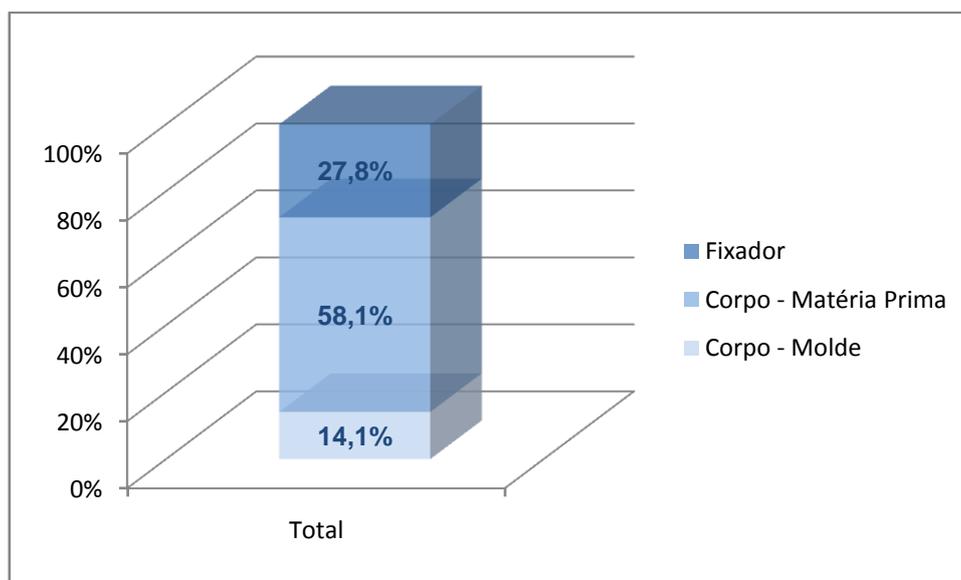


Figura 3.5 – Contribuição do custo de cada componente actual

Matriz Custo/Função

A matriz Custo/Função tem como objectivo, associar a cada função um custo, de forma a ser possível identificar posteriormente, funções a melhorar, ou seja visualizar o binómio custo/importância. Assim para o corpo de mola, estão apresentados os custos das funções na tabela 3.13, e para o fixador na tabela 3.14.

Os custos foram obtidos através da empresa Fapil para os moldes, através da empresa JV elastómeros S/A para o fixador, através da empresa ExxonMobil e sítios de internet de cotações (<http://www.icis.com>, <http://www.ides.com>) para a matéria-prima dos corpos de mola.

Para atribuir um custo à função “prender roupa” no corpo da mola para roupa, somou-se o custo da matéria-prima com menor desempenho mecânico (material Homopolímero sem ser reforçado), ao custo do molde que não está associado a qualquer uma das restantes funções, isto é, responsável pela geometria necessária à fixação da roupa pelo corpo da mola para roupa. O custo associado à função “ser amigável”, é o correspondente às concavidades do molde responsáveis pela pega da mola (8 concavidades). O custo da função “ser robusto”, não é mais do que a percentagem de custo de matéria-prima correspondente ao material reforçado, ou seja $0,368\text{eur} \times \text{massa}$ (capítulo 3.2.3.2), que permite a robustez que o modelo

actual possui. A função “ser estético” tem apenas o custo associado do aditivo responsável pela cor do corpo do produto, uma vez que as arestas com raio de curvatura não estão presentes no actual modelo.

<u>Corpo</u>	Descrição	Custo %
Prender Roupa	Forma/estrutura necessária, para fixar roupa.	21890 € + 5501,25 € = 72,8 %
Ser amigável	Ser confortável e eficaz, através de concavidades na pega e força de abertura.	1833,75 € = 4,9 %
Ser Robusto	Comportamento mecânico (deformada).	7384 € = 19,6 %
Ser estético	Aditivo para cor, arestas com raio de curvatura.	1003 € = 2,7 %

Tabela 3.13 – Matriz custo/função do corpo de mola actual

No que diz respeito ao fixador, as funções associadas a este componente são a função “prender roupa” e a função “ser estético”, já que se entende que este componente não representa a função “ser amigável” (não representa conforto para o utilizador, nem permite interferir na força de abertura independentemente da força de fixação) nem a função “ser robusto” (não interfere na deformada do produto independentemente das forças de abertura e fixação). Assim a função “prender roupa”, tem o custo associado ao custo total do fixador menos a percentagem de custo associada ao facto de o fixador ser transparente. No caso do actual produto, o custo total do fixador representa a função “prender roupa”, sendo que a função “ser estético” não tem qualquer custo associado.

<u>Fixador</u>	Descrição	Custo %
Prender Roupa	Forma/material que permita exercer força de fixação.	14472 € = 100 %
Ser amigável	Ser confortável e eficaz, através de concavidades na pega e força de abertura.	-
Ser Robusto	Comportamento mecânico (deformada e coeficiente de segurança).	-
Ser estético	Transparente.	0 €

Tabela 3.14 – Matriz custo/função do fixador

Apresenta-se o gráfico do custo, expresso em percentagem do custo total, associado a cada função, na figura 3.6:

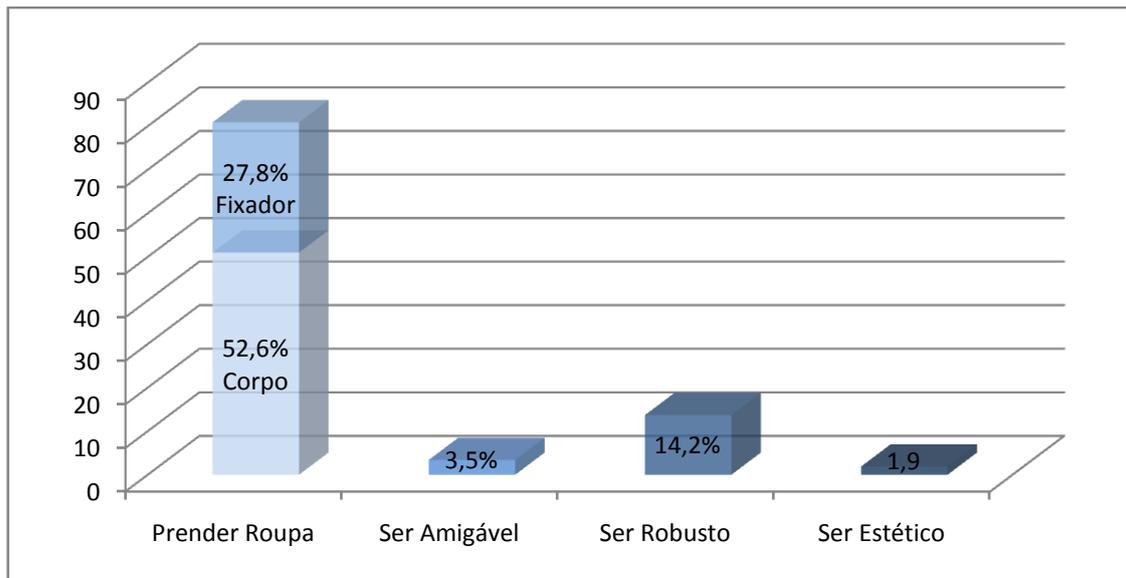


Figura 3.6 – Contribuição dos custos de casa função da mola actual

É possível verificar na figura 3.6, que a função com maior custo associado é a função “prender roupa”, que na sua totalidade representa 80,4% do custo total. A função “ser robusto” é a segunda com maior custo, representando apenas 14,2% do custo total, curiosamente a 3ª classificada a nível de importância. Já as funções “ser amigável” e “ser estético” representam apenas valores residuais de 3,5% e 1,9% do custo total.

Do histograma apresentado na figura 3.7 que relaciona a importância com o custo de cada função, conclui-se que a função principal “prender roupa”, possui um custo muito superior à sua importância, sendo portanto a função com menor Valor associado. Desta forma deve-se ter atenção à redução de custos, no capítulo geração de modelos, não esquecendo simultaneamente a sua qualidade visto a sua importância ser a mais elevada (maior preponderância na determinação do Valor = importância x qualidade / custo).

Quanto à função “ser amigável”, esta possui um custo bastante baixo, não sendo deste modo um factor de prioridade na geração de modelos. No entanto é de realçar a sua importância (a segunda mais alta), que deverá conduzir a uma preocupação na geração de qualidade desta função.

Para a função “ser robusto”, o custo não é muito significativo, da mesma forma que a sua importância. Neste sentido importa não aumentar significativamente o custo, não dando prioridade à sua qualidade uma vez que a sua importância é relativamente baixa, isto é, por muita qualidade que esta função tenha, esta não irá afectar muito o Valor a ela associado.

Já para a função “ser estético”, importa notar que se torna desnecessário aumento de qualidade da função para o aumento do valor do produto, devido à sua importância residual (2%). Os custos são igualmente baixos estando de acordo com a importância, concluindo

assim que não é necessário alterar activamente esta função, devido a sua fraca preponderância no cálculo do valor.

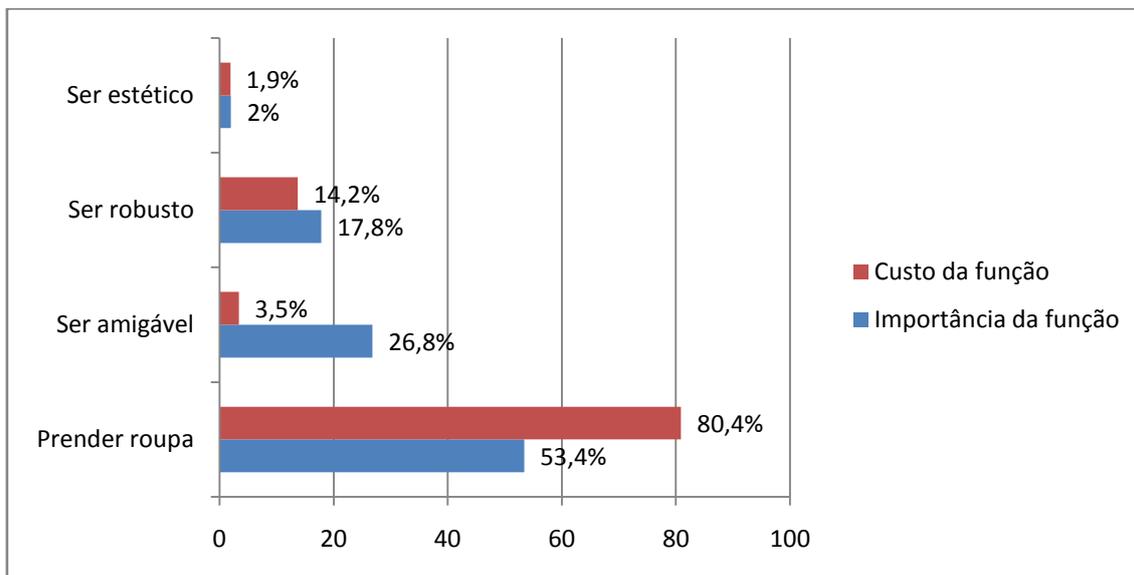


Figura 3.7 – Gráfico de comparação do custo de cada função com respectiva importância

Resumindo, as funções a ter em atenção quer na qualidade quer nos custos (especialmente no caso da função “prender roupa”) no próximo capítulo de geração de modelos, são as funções “ser amigável” e “prender roupa”.

3.2.3.2 – Geração de corpos de mola

Nesta secção, o objectivo centra-se na concepção de modelos de corpos de mola, que satisfaçam as especificações estabelecidas anteriormente, procurando melhorar funções que acrescentem maior valor.

Pretende-se em primeiro lugar gerar um corpo de mola, que responda às especificações previamente definidas, ou seja que cumpra também as necessidades do cliente (corpo 1). Depois de gerado o modelo, proceder à manipulação do mesmo, de modo a reduzir a massa, concebendo assim um modelo de custo mais reduzido, no que diz respeito à matéria-prima necessária (corpo 2). Depois de concebidos os modelos de corpo de mola, proceder à geração de fixadores para cada modelo (fig.3.8).



Figura 3.8 – Metodologia geral para geração de corpos de mola

Critérios técnicos

Para o cumprimento das especificações, são concebidas geometrias e seleccionados materiais, segundo os seguintes critérios técnicos de análise:

- Estática

A análise estática, foi realizada através de um programa de elementos finitos (Cosmosworks), tendo em atenção a rigidez (deformada) de acordo com as especificações, bem como as tensões no modelo em estudo, de modo a estas não serem superiores às de cedência de acordo com o critério de plasticidade de Von Mises (anexo 3).

- Ambiente e Gama de temperaturas

Na selecção de materiais, levou-se em atenção a gama de temperaturas de uso, mais concretamente o parâmetro HDT A/B, através do teste ISO 75 A/B. Este indica a que temperaturas se atinge um determinado valor de deflexão (0,32 mm), com uma determinada carga (1,8 MPa no teste B, ou 0,46 Mpa no teste A), permitindo uma boa referência relativamente ao comportamento térmico do material. Deste modo, usou-se na metodologia de selecção o parâmetro HDT A, que corresponde à condição mais desfavorável dos testes existentes, ficando bastante aquém do valor correspondente à posição de abertura máxima (posição mais desfavorável), que iguala o valor de 0,37 Mpa de pressão inferior ao valor de 0,46 Mpa. Significando assim que se está a projectar com maior segurança. Por outro lado, a resistência do material ao meio ambiente, para além da gama de temperaturas já referida, foi tida em conta no que concerne à humidade e raios ultra violeta, factores apresentados qualitativamente pelos fabricantes.

- Outros não adoptados (fadiga estática e dinâmica)

No que diz respeito à fadiga dinâmica, esta não foi tida em conta, por falta de dados dos fornecedores dos materiais analisados. Em alternativa poder-se-ia experimentalmente obter estes dados, mas tendo em conta uma curva típica S-N do tipo de materiais analisados, estar-se-ia na ordem de grandeza de um milhão de ciclos, o que inviabilizou a obtenção dos dados experimentalmente.

Quanto à fadiga estática, mais concretamente a fluência no caso do corpo da mola, para além de não serem fornecidos os dados por parte dos fabricantes, não se achou relevante a sua análise, uma vez que a deformação do corpo da mola ao fim de um determinado tempo (fluência), quando sujeito a uma carga, como por exemplo a

fixação de roupa que requeira abertura máxima (caso extremo), não influencia o seu desempenho nem condiciona as funções para as quais a mola foi concebida.

3.2.3.2.1 – Geração de Corpo 1

Para a geração deste modelo, foi seguida uma metodologia a nível da concepção geométrica (estrutura) e a nível da selecção de materiais, que levou à obtenção de uma geometria com vários materiais. Posteriormente foi apresentado o desempenho relativo aos modelos gerados.

Metodologia

A concepção deste modelo começa necessariamente pela geometria, de forma a satisfazer as especificações, anteriormente definidas, seguindo-se depois o processo de selecção de material.

Estrutura

Para a concepção estrutural (fig.3.9), no caso de as especificações não serem satisfeitas, o processo volta ao início para nova concepção (ou modificação) geométrica.

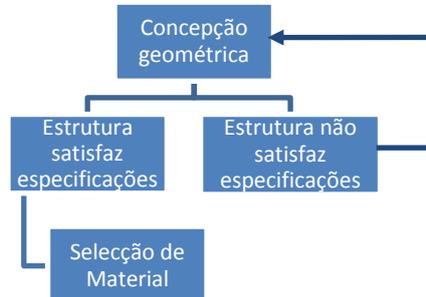
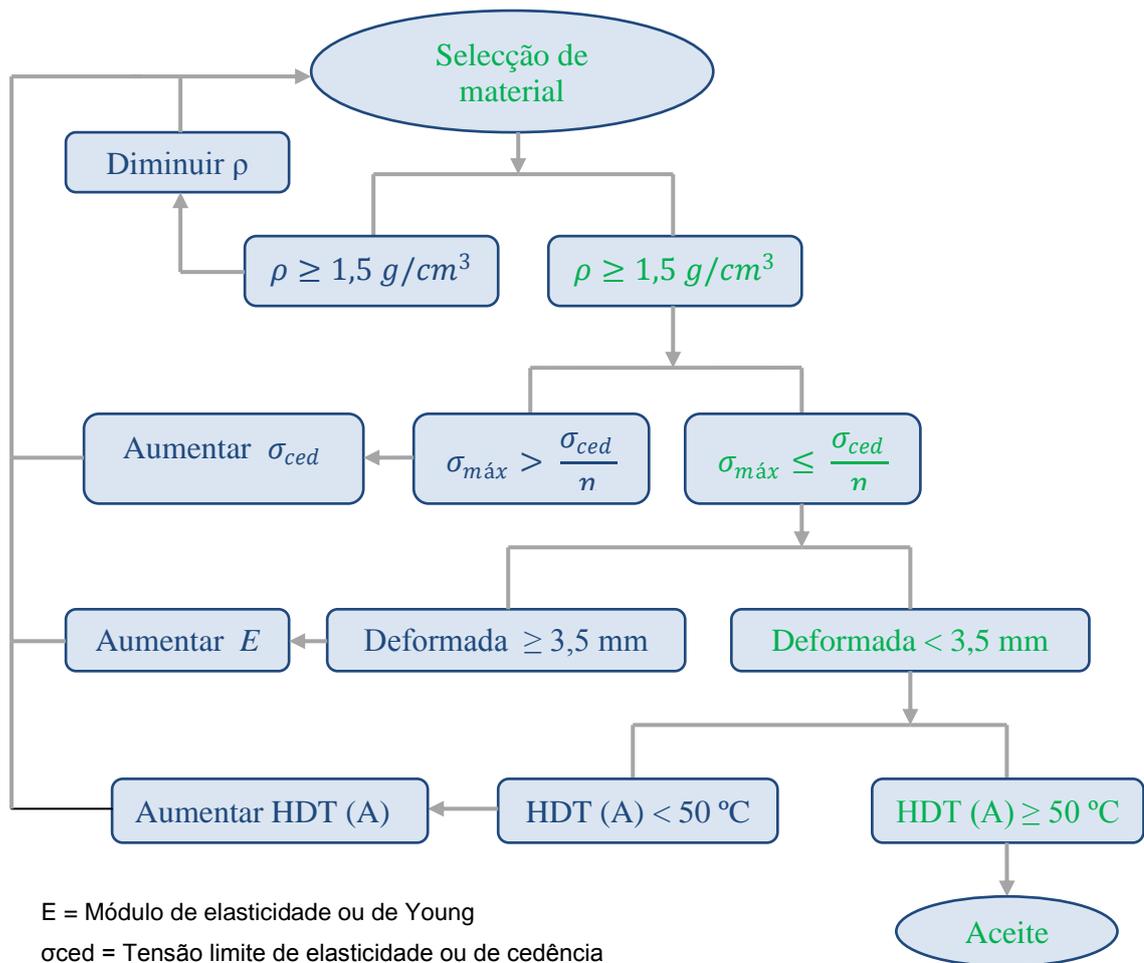


Figura 3.9 – Metodologia para geração do corpo de mola 1

Material

Para a selecção de material [28;30], é analisado o comportamento do modelo e seleccionado novo material caso os critérios do diagrama seguinte não sejam satisfeitos (fig.3.10).



E = Módulo de elasticidade ou de Young
 σ_{ced} = Tensão limite de elasticidade ou de cedência
 σ_{max} = Tensão de Von Mises máxima no modelo
 $n = 1,10$ = Coeficiente de segurança
 Deformada = Deslocamento vertical (y) elástico na extremidade do modelo
 ρ = Massa específica
 HDT (A) = Temperatura de distorção a quente.

Figura 3.10 – Diagrama de selecção de material para corpo de mola 1

O coeficiente de segurança mínimo adoptado, para o modelo entrar em plasticidade, é de 1,10, ou seja a tensão no modelo para ser aceite é no máximo, 10% inferior à tensão de cedência do material. Por outro lado, é importante estabelecer uma massa específica máxima ($1,5 \text{ g/cm}^3$), para não só evitar um eventual peso excessivo do produto, que se pretende ligeiro, como também separar a classe de materiais a seleccionar, dentro das especificações pretendidas. Importa por último, realçar a importância do comportamento do material, quando exposto ao meio ambiente (principal meio de uso), donde-se destaca quantitativamente o comportamento térmico através do teste ISO 75 HDT A e qualitativamente os factores humidade e raios ultra violeta (descoloração).

Para a selecção de material, a metodologia é idêntica à da estrutura, isto é, até o material vir aceite segundo o diagrama acima, um novo material é seleccionado. Importa referir, porém, que ao ser aceite um material, não significa que o processo termine. Podem ser

seleccionados mais do que um material, que correspondam às especificações expostas no diagrama para posterior análise e selecção.

Concepção Geométrica

Para o cumprimento de cada especificação funcional, analisa-se as geometrias necessárias, para posteriormente passar-se ao estudo da selecção de materiais. Lembrando as especificações para a geração de modelos na tabela 3.15:

Necessidade	Especificação	Quantificação
b	1 - Ponto de fixação mais próximo da extremidade.	$d_f < 0,02324 \text{ m}$
c	2 - Força de abertura menor.	$F_a \leq 23,90 \text{ N}$
e	3 - Pega ergonómica.	Cota superficial negativa (concauidade)
d	4 - Suavização das arestas da pega.	$R < 0,5 \text{ mm}$
-	5 - Deformada na extremidade (y)	$u_y < 3,5 \text{ mm}$
-	6 - Força de fixação	$F_f > 8,37 \text{ N}$

Tabela 3.15 – Especificações a cumprir

Especificação 1:

A especificação que está associada à necessidade (b), não irá ter continuidade, devido ao conflito desta necessidade com aquela para a qual a mola foi concebida: Fixação em ambos os lados da mola (ver planeamento de produto). Quanto mais próximo estiver o ponto de fixação da extremidade, mais difícil se torna a abertura da mola (não indo de encontro à especificação 2), chegando-se à conclusão que será sempre uma especificação/necessidade não satisfeita, quando se está perante uma mola para roupa com fixação em ambos os lados da mesma. Para além desta contrariedade, que seria por si só suficiente para não dar continuidade à especificação, esta não vai também de encontro à característica positiva já existente na mola actual, caracterizada por elevada força de fixação., já que o braço da força aumentaria com o ponto de fixação mais próximo da extremidade, causando menor força de fixação (fig.2.5).

Importa realçar, que embora a especificação 2, esteja relacionada com a especificação 1, é possível identificar uma possibilidade de a satisfazer, sem alterar o ponto de fixação, através da manipulação dos eixos de rotação. O contrário já não poderá ser feito, de acordo com o parágrafo anterior, e uma vez que o ponto de fixação será sempre o primeiro eixo de rotação da mola (no caso de dois eixos), ou apenas o único eixo que eventualmente um modelo de mola tenha.

Especificação 2:

De forma a cumprir a especificação 2, sem alterar quaisquer das variáveis características da mola, manipula-se os eixos de rotação, concebendo uma nova zona de eixos/apoio da mola (fig.3.11a). Assim passa-se a ter apenas um eixo de rotação (fig.3.11b), que causa um desalinhamento das pegas na abertura máxima (que dificilmente será visível), mas por outro lado causa uma diminuição da força de abertura máxima, dentro dos valores estabelecidos para as especificações finais:

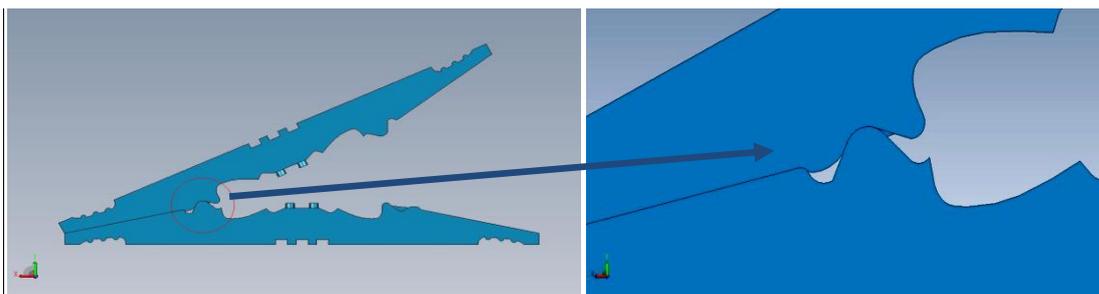


Figura 3.11a – Abertura máxima do corpo 1

Figura 3.11b – Pormenor da zona de rotação do corpo 1

Na concepção foi dada prioridade à posição inicial (fig.3.12a), relativamente ao alinhamento das arestas da pega, existindo assim, apenas um desalinhamento mínimo das pegas na abertura máxima (fig.3.12b):

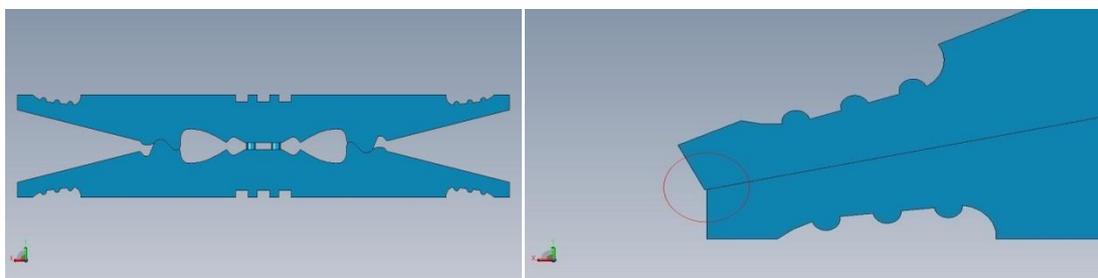


Figura 3.12a – Posição inicial do corpo 1

Figura 3.12b – Desalinhamento do corpo 1 na abertura máxima

O desalinhamento apresentado na figura 3.12b é de 0,08 mm, valor bastante reduzido e negligenciável ao olho humano.

Com a nova zona de rotação, com apenas um eixo a força de abertura máxima, aplicada no ponto mais extremo da mola, é dada por (ver figura 2.5):

a (mm)	b (mm)	c (mm)	s (mm)	F_a (N)
23,52	11,96	9,00	10,00	23,52
$q \cdot ((c/2)+b) \cdot c = F_y \cdot (a) \rightarrow F_y \equiv F_a$				Equação 9

Tabela 3.16 – Força de abertura do corpo 1

Especificação 3:

Utilizando o mesmo material, daquele usado para o actual modelo, de forma a ser possível obter a tensão máxima no modelo (esta apenas depende da área de secção e das cargas aplicadas, existindo pequenas diferenças usando diferentes materiais devido às aproximações do programa de elementos finitos – anexo 1) em elementos finitos, chega-se à tensão máxima de 27,11 Mpa. Assim, de acordo com o gráfico (fig.3.13), a classe de material a escolher, tendo em conta a tensão de cedência necessária do material, será a classe dos polímeros, uma vez que é aquela com a menor densidade ($< 1,5 \text{ g/cm}^3$) associada à tensão pretendida, a seguir às madeiras (não estudadas devido, ao desuso de materiais naturais, causado pelo impacto ambiental, com consequente impacto na sociedade consumidora), estando assim de acordo com a classe de material já utilizada. Dentro da classe dos polímeros, aquele com menor densidade para os valores de tensão referidos é o polipropileno (PP), correspondendo também ao material já utilizado.

Por outro lado, tendo em conta a rigidez necessária para o produto em causa, o tipo de material foi seleccionado de acordo com a figura 3.14, que relaciona o módulo de elasticidade com a densidade:

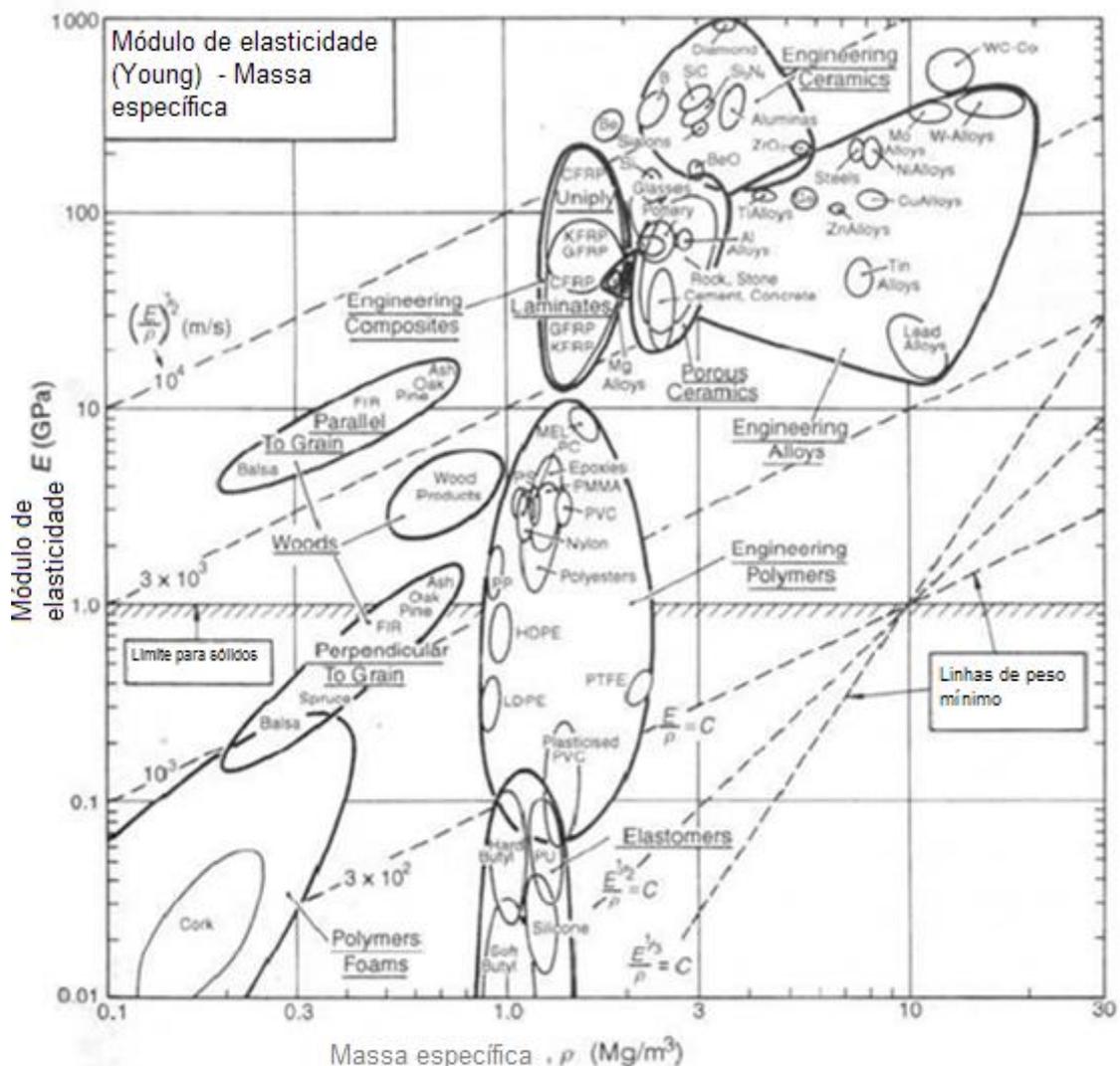


Figura 3.14 - Selecção de classe de materiais por módulo de elasticidade e massa específica

Seguindo o critério do diagrama da figura 3.10, a deformada máxima em y de 3,5 mm na extremidade da mola, corresponde aproximadamente a 1000 Mpa de módulo de elasticidade. Desta forma, mais uma vez, a classe de material com a mais baixa densidade ($< 1,5 \text{ g/cm}^3$) associada ao valor de deformada referido, a seguir às madeiras, é a classe de polímeros. Dentro desta classe, o polipropileno (PP), é aquele com a menor densidade associado ao valor do módulo de elasticidade.

Nesta primeira fase de selecção de material, veio-se a verificar que a classe de material seleccionada por características técnicas, coincidiu com o constrangimento do estudo, associado ao facto de a empresa Fapil possuir apenas equipamento que permita a produção do produto em material polimérico (injecção de plástico).

Dentro da classe dos polímeros anteriormente seleccionada, escolhe-se dois grandes fornecedores mundiais de polímeros, para a fase final de selecção (sempre de acordo com a figura 3.10): ExxonMobil Chemical e Geplastics, uma vez que os polímeros existentes, têm as suas características dependentes dos fabricantes, que patenteiam os seus compostos, possuindo assim diferentes desempenhos. De acordo com o diagrama (fig.3.10), foram aceites os materiais apresentados na tabela 3.17.

Referência	Tipo	Custo (Eur/Kg)	Massa específica (g/cm^3)	Tensão de Cedência (Mpa)	Módulo de Elasticidade (Mpa)	HDT A/B ($^{\circ}\text{C}$)
PP 1063L1	Homo polímero	1,091	0,90	33	1500	52 / 87
HMU 216	H. Reforçado	1,720	1,05	32	2750	66 / 120
HMU 210	H. Reforçado	1,459	1,04	34	2750	65 / 119
LNP Lubricom ML 4340	H. Reforçado	1,401	1,02	33	2700	71 / 122

Tabela 3.17 – Características dos materiais seleccionados para corpo 1

Os três primeiros materiais da tabela 3.17, são do fornecedor ExxonMobil, sendo o ultimo proveniente da empresa Geplastics. Para além das características dos materiais apresentados no quadro acima, a todos estes materiais são apontados pelo fabricante qualitativamente, como resistentes à humidade e raios UV.

O custo para o material PP 1063L1 foi obtido através de cotações europeias [31], já que de momento este não é fornecido para o sul da Europa, optando-se por não o deixar de apresentar neste estudo. Quanto ao material da Geplastics, o custo foi obtido também através

de cotações [32], já que não foi possível obter resposta deste fornecedor. Para os restantes materiais o custo foi obtido directamente dos seus fornecedores.

Desempenho e Custos

O desempenho foi avaliado através de elementos finitos - programa Cosmosworks (anexo 1), estando os resultados apresentados na tabela 3.18. De referir que o custo da matéria-prima (polipropileno mais o aditivo de cor) corresponde a 2.400.000 molas, ou seja a produção anual inicial prevista, calculado analogamente à tabela 3.12. O custo do molde associado a esta geometria é de aproximadamente 7800 Eur – dados fornecidos pela empresa Fapil.

Referência	Tensão de VM máxima (Mpa)	Coef. segurança	Def. extremidade (mm)	Volume (mm ³)	Massa (Kg)	Custo MP (€)
PP 1063L1	27,18	1,21	2,33	7780	$7,002 \times 10^{-3}$	19174
HMU 216	27,11	1,18	1,25	7780	$8,169 \times 10^{-3}$	34702
HMU 210	27,11	1,25	1,25	7780	$8,091 \times 10^{-3}$	29302
LNP Lubricom ML 4340	27,07	1,22	1,26	7780	$7,935 \times 10^{-3}$	27633

Tabela 3.18 – Comportamento mecânico de corpos de mola 1

3.2.3.2.2 – Geração de corpo 2

Neste ponto concebe-se o corpo 2, a partir do modelo1 reduzindo a massa. Desta forma concebem-se modelos que correspondam às especificações estabelecidas (tab.3.15), mas que possuam redução de volume, para conduzirem a redução de massa e consequentemente de custos de matéria-prima.

Metodologia

A metodologia para a geração do corpo 2 é apresentada simultaneamente para a estrutura e material, uma vez que a concepção da geometria para o corpo 2 está condicionada pelo material usado, ou seja é um processo simultâneo de concepção geométrica e selecção de material.

Estrutura e material

A metodologia empregue neste modelo (fig.3.15), engloba a estrutura e material, uma vez que são analisados todos os materiais do corpo 1, partilhando ou não a mesma geometria

de redução de massa. Isto é, gera-se uma nova geometria, sempre que as especificações (tab.3.15) ou o comportamento mecânico (fig.3.10) não são satisfeitos com a geometria previamente concebida (associada a outro material). No caso de uma nova concepção geométrica, se verificar que as especificações, ou o comportamento não são cumpridos para um material com uma geometria já atribuída, não se dá seguimento à concepção de segunda geometria para esse material (fig.3.15).

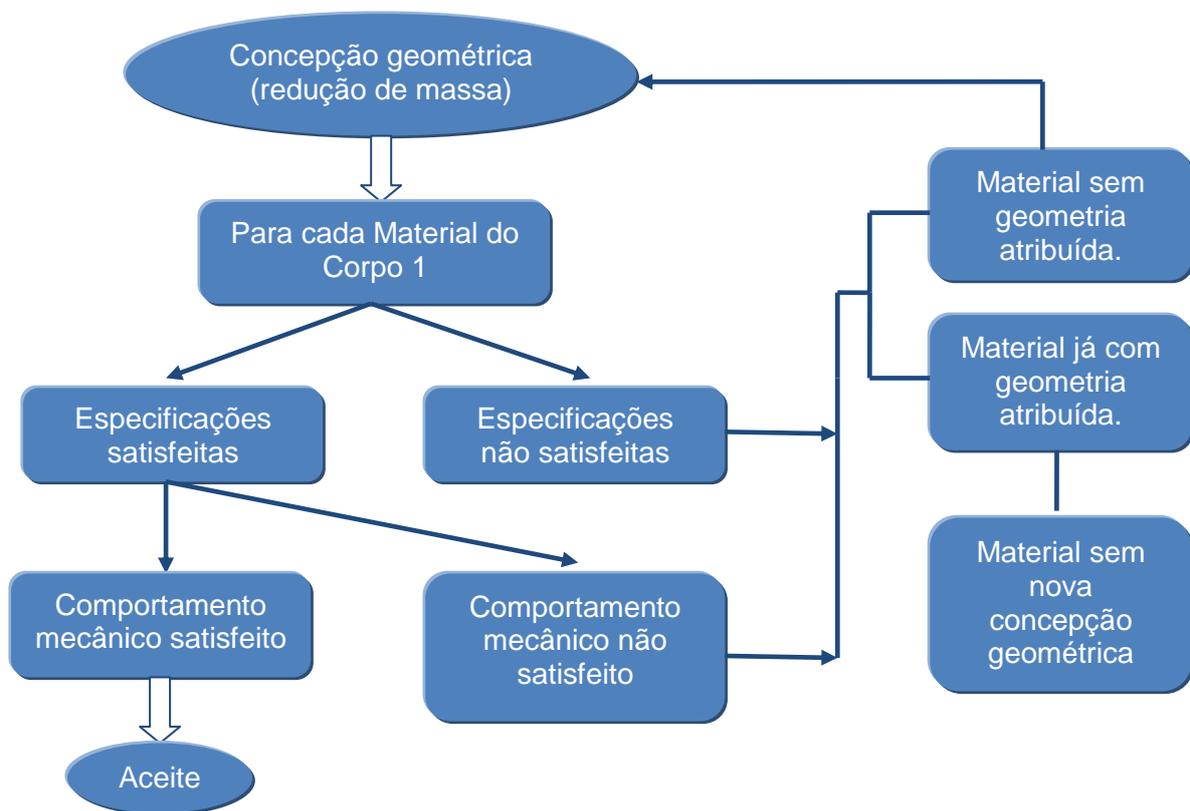


Figura 3.15 – Metodologia de geração de corpos de mola 2

Concepção geométrica

Para conceber a geometria necessária à redução de volume, é estudada a distribuição de tensões no modelo, de modo a conduzir a redução de volume dentro das especificações anteriormente estabelecidas, ou seja reduzir volume nas zonas, que menos afectem as características da mola.

Para a análise de tensões e deformações, aproxima-se o modelo a uma viga (com a devida secção). Assim de acordo com [33], para a situação mais desfavorável (anexo 1) e com os dados da concepção geométrica do modelo1 (especificação 2):

Esforço transverso e Momento

A distribuição de esforço transverso (fig.3.17a) e momento flector (fig.3.18) segundo o referencial da figura 3.17b, obtém-se a partir do diagrama de corpo livre (fig.3.16a), para o cálculo da reacção no apoio, segundo o referencial da figura 3.16b.

Diagrama de corpo livre

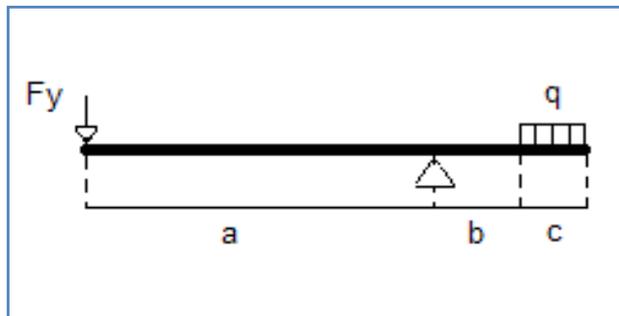


Figura 3.16a – Diagrama de corpo livre (abertura)

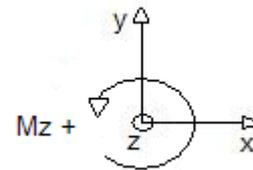


Figura 3.16b – referencial cartesiano

Através das forças e reacção no apoio, do modelo, obtém-se o diagrama de esforço transverso:

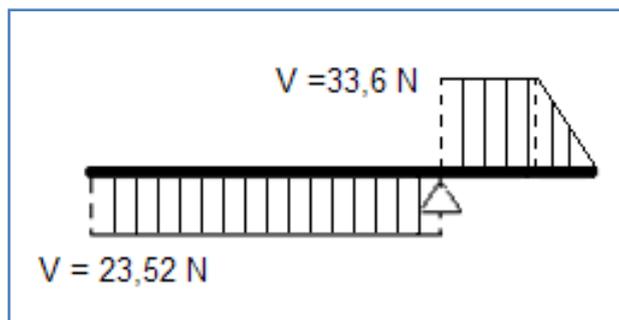


Figura 3.17a – Distribuição de esforço transverso



Figura 3.17b – Referencial

Analogamente, obtém-se o diagrama de momento em z :

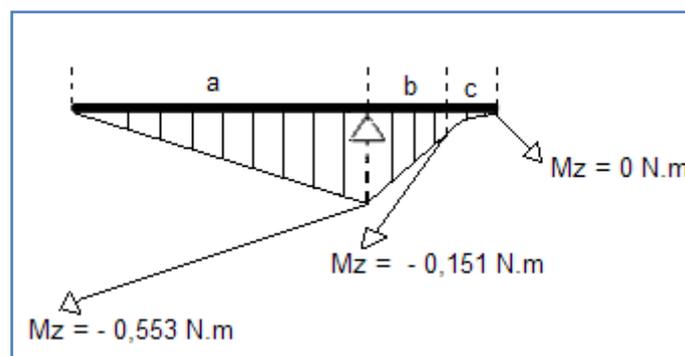


Figura 3.18 – Distribuição de Momento flector

$$\text{Onde } V_y = \frac{dM_z}{dx}$$

Secção longitudinal do corpo 1

A secção longitudinal do modelo 1 (fig.3.19), vai auxiliar à concepção da geometria para redução de massa, conjugando simultaneamente as variáveis da tensão no modelo, para a redução ser em zonas que menos afectem o comportamento do modelo.

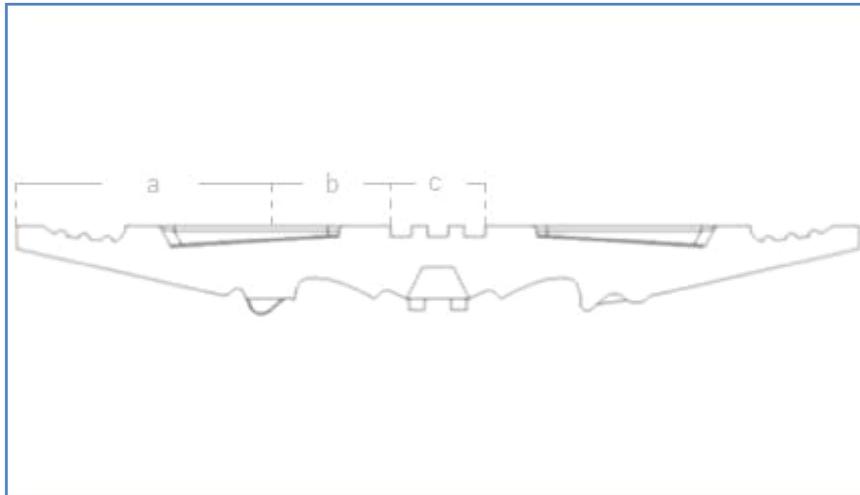


Figura 3.19 – Secção longitudinal de corpo 1

Tensões e deformações

As tensões máximas normais (a) e de corte (b) existentes no modelo, resultantes das cargas aplicadas, resumem-se [33], às equações 10 e 11:

$$\bullet \sigma_x = \frac{M_z \cdot c}{I_z}, \quad c = y_{m\acute{a}x} \quad \text{Equação 10}$$

$$\bullet \tau = \frac{3 V_y}{2 A} \quad \text{Equação 11}$$

A deformação em flexão (caso de estudo) é dada pela equação 12 [28;33]:

$$\bullet \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M_z}{EI} \quad \text{Equação 12}$$

Para as equações anteriores, o segundo momento de área I é dado por:

$$I \equiv I_z = \int (y^2) dA$$

Pela equação anterior, I é tanto maior, quanto maior for a área da secção. Desta forma as tensões e a deformação no modelo, são maiores para as zonas de maior momento flector e esforço transversal (embora com valor desprezável face ao valor da tensão correspondente ao

momento flector), bem como para as zonas correspondentes a menor área de secção. Com base nesta análise, procura-se a redução de volume nas zonas de menor momento flector (considerando desprezável a influência do esforço transversal), tendo em conta também a área de secção dessas mesmas zonas.

Geração da geometria

A concepção da nova geometria, que conduza a redução de massa, inicia-se com o material com piores características mecânicas (E e σ_e mais baixos). Posteriormente analisa-se os outros materiais, levando ou não, a uma nova concepção geométrica.

Material PP 1063L1 (a) - geometria (1)

A geometria obtida para este material apresenta-se na figura 3.20:

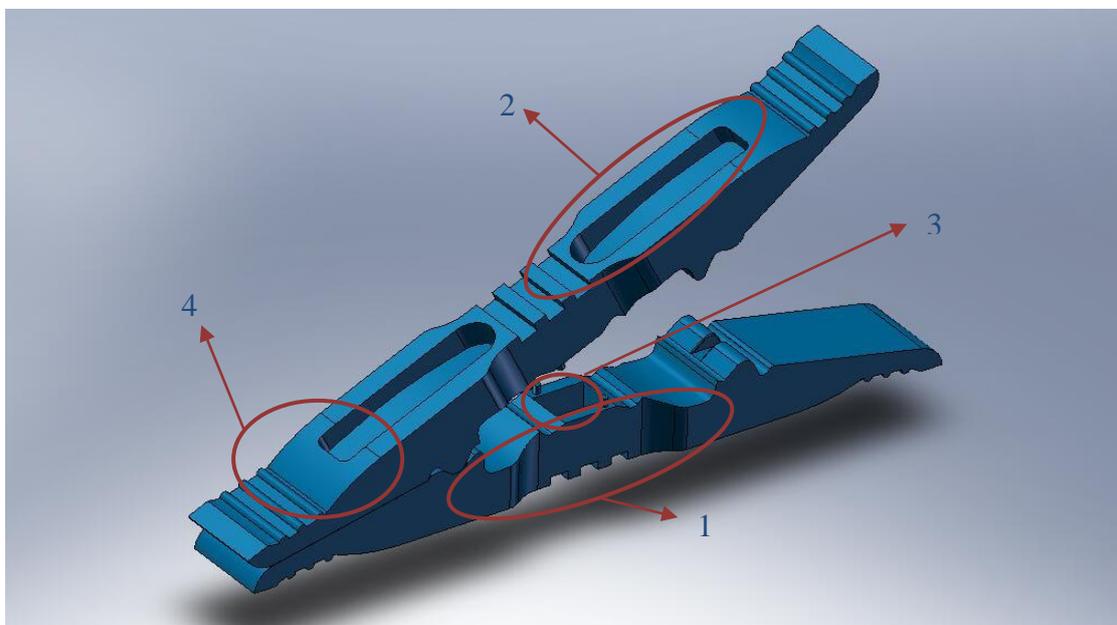


Figura 3.20 – Geometria 1 de corpo 2

Zona 1 – Tendo em conta, esta ser a zona do produto, com o valor mais baixo de tensões (momento flector mais baixo), procedeu-se a uma redução de volume, com vista também a reduzir a dimensão do fixador (lateralmente), para posterior análise no subcapítulo seguinte (potencialidade de custo mais baixo).

Zona 2 – Visto esta, ser uma zona já com área de secção reduzida e com considerável momento flector, procurou-se otimizar a redução existente nos topos, efectuando uma redução de volume solidária com a distribuição de momento flector/tensões. Isto é, a redução é tão mais ou menos acentuada, quanto menor ou maior for o momento flector respectivamente (fig.3.18; fig.3.20). É de realçar, que embora a área de secção diminua no sentido da pega, a

diminuição das tensões é ainda mais acentuada, logo a possibilidade de redução de volume é uma realidade.

Zona 3 – Para além da remoção lateral nesta zona (área 1), procedeu-se à redução de volume no centro desta zona mais acentuada do que a já existente, devido mais uma vez às baixas tensões existentes.

Zona 4 – Uma vez que nesta área, o momento flector está também em declínio, procurou-se acrescentar um raio de curvatura na aresta de topo existente no início da concavidade da pega, que para além da consequente redução de volume, acrescenta melhorias estéticas ao produto (arestas suavizadas).

Material HMU 210 (b), Material ML 4340 (c) - geometria (1):

Para estes materiais, a geometria anterior (fig.3.20) permitiu a aceitação segundo as metas adoptadas. Desta forma, para estes materiais é usada a mesma geometria.

Material HMU 216 (d) - geometria (2):

Uma vez que o coeficiente de segurança à cedência estabelecido, não foi cumprido nesta geometria e com este material, concebe-se uma nova geometria (fig.3.21) a partir da anterior:

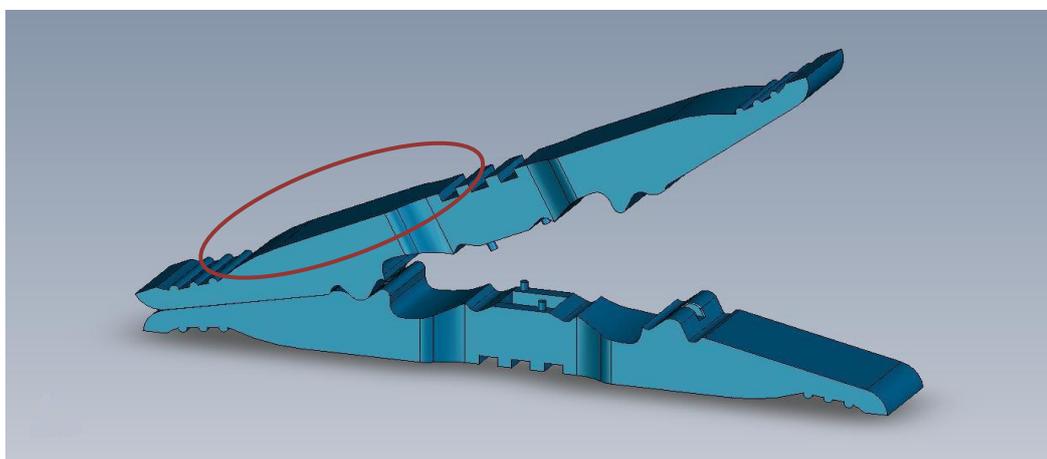


Figura 3.21 – Geometria 2 de corpo 2

Esta geometria difere da geometria 1, não possuindo a zona 2 de remoção assinalada na 3.20, como é possível verificar na marcação na figura acima apresentada. Desta forma a área de secção correspondente à zona da tensão máxima aumenta (anexo 1), resultando uma tensão de Von Mises mais baixa (coeficiente de segurança maior).

Material PP 1063L1 (a), Material HMU 210 (b), Material ML 4340 (c) - geometria (2):

Seguindo a metodologia, analisa-se também os outros materiais nesta geometria (2), acabando estes por serem aceites.

Desempenho e Custos

O desempenho associado às geometrias/materiais, acima apresentados, segundo os critérios adoptados, estão apresentados no anexo 4, tendo sido calculados de forma análoga ao efectuado para o corpo 1.

No entanto importa referir, que o custo do molde aproximado, associado à geometria 1 e 2 (corpo 2) é aproximadamente 10000 Eur e 9000 Eur respectivamente – dados fornecidos pela empresa Fapil. Para todos os materiais, tendo em conta que se trata da mesma geometria, as tensões no modelo deveriam ser as mesmas (eq.8; eq.9), no entanto devido às aproximações e à sequência de cálculo do programa de elementos finitos (que primeiro calcula os deslocamentos e extensões, para posteriormente calcular as tensões através do módulo de elasticidade [34]), nesta análise linear, os valores diferem para materiais com módulos de elasticidade diferentes, isto é com rectas tensão - extensão com diferentes declives:

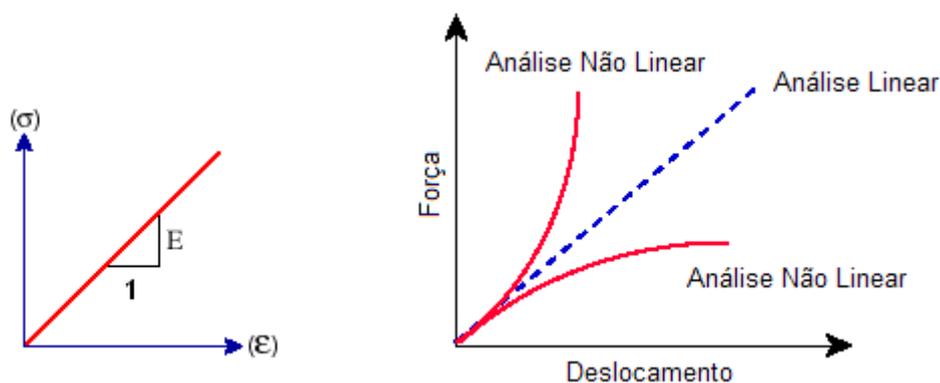


Figura 3.22a – Análise linear

Figura 3.22b – Comparação de análises linear e não linear

3.2.3.3 – Geração de fixadores

A geração de fixadores é apresentada neste capítulo, em primeiro lugar pela metodologia adoptada, seguida da concepção propriamente dita, associada quer à geometria, quer à selecção de materiais, finalizando com a apresentação do desempenho de cada fixador gerado.

3.2.3.3.1 - Metodologia Geral

A metodologia geral está apresentada no diagrama da figura 3.23, onde para cada material seleccionado são adaptadas as dimensões da geometria, até as especificações se encontrarem satisfeitas, caso contrário não se dá continuidade ao material em estudo. Os fixadores para os corpos de mola 1 e 2 têm que ser necessariamente analisados em separado,

uma vez que entre estes corpos de mola a zona central difere (zona onde o fixador se irá posicionar), sendo reduzida lateralmente no corpo 2.

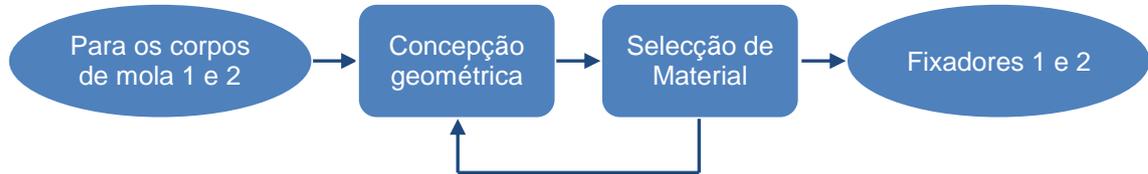


Figura 3.23 – Metodologia geral da geração de fixadores

3.2.3.3.2 – Concepção geométrica

A geometrias a serem estudadas, pressupõem um material que possua elevada elasticidade, permitindo assim a adaptação da sua geometria às posições de abertura que a mola permite, como também uma força resultante consequente do alongamento da geometria. Deste modo inicia-se o estudo com a actual geometria da secção do fixador (circular oca), segundo a qual se vai fazer uma análise em elementos finitos. Outra geometria vai ser também analisada, nomeadamente a de secção rectangular oca, uma vez que corresponde à geometria transversal do corpo da mola, segundo a qual o fixador se vai apoiar, permitindo assim maior controlo sobre as dimensões necessárias (da geometria), à obtenção das especificações previamente estabelecidas. Ambas as geometrias vão ser estudadas, quer para modelo de corpo 1, quer para o modelo de corpo 2.

Geometria circular

Esta geometria (fig.3.24) é caracterizada, por um diâmetro interno e por um externo, sendo a diferença entres estes igual a duas vezes a espessura:

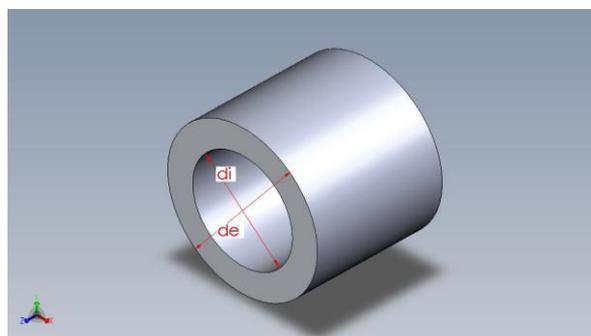


Figura 3.24 – Geometria de fixador circular

Geometria rectangular

Neste caso (fig.3.25) as dimensões são caracterizadas, pelos lados menores l1 (interior), L1 (exterior), l2 e L2; bem como pelos de maior dimensão l3, L3, l4 e L4. A diferença entre cada lado legendado com o mesmo número, iguala a espessura característica da geometria (constante).

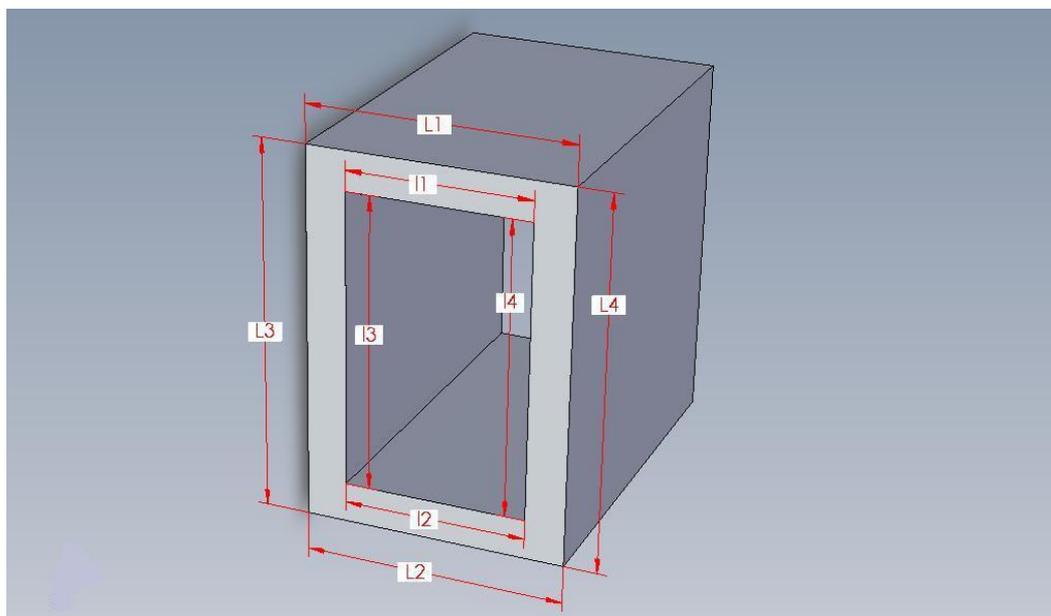


Figura 3.25 – Geometria de fixador rectangular

As dimensões genéricas em cada figura, vão depender do material seleccionado, bem como do corpo de mola para o qual estão a ser concebidas (corpo 1 ou 2), de forma a virem satisfeitas as especificações. O comprimento dos fixadores é igual para ambos os corpos de mola e para ambas as geometrias, isto é 9 mm.

3.2.3.3.3 – Seleção de material e dimensionamento

Critérios

Como critérios técnicos, de forma a seleccionar o material/dimensões, são abordados os seguintes factores [35]:

- Estática

A análise estática, é através do programa de elementos finitos (Cosmosworks), tendo em atenção as tensões no modelo em estudo, de modo a estas não serem superiores às de rotura de acordo com o critério de Von Mises (anexo 5). Por outro lado, é tido em conta, a tensão normal às superfícies, quer superiores quer laterais, de modo às especificações virem satisfeitas.

- Ambiente e Gama de Temperaturas

A gama de temperaturas de utilização dos materiais, é levada em conta, bem como o seu desempenho face ao ambiente atmosférico (qualitativamente).

- Outros não adoptados (fadiga estática e dinâmica)

No que diz respeito à fadiga estática e dinâmica (relaxação de tensões quando submetido a deformação constante ao longo do tempo), estas não foram tidas em conta devido à falta de dados dos fabricantes/fornecedores, bem como (em alternativa) à impossibilidade de obtenção da amostra dos materiais para obtenção dos dados experimentalmente.

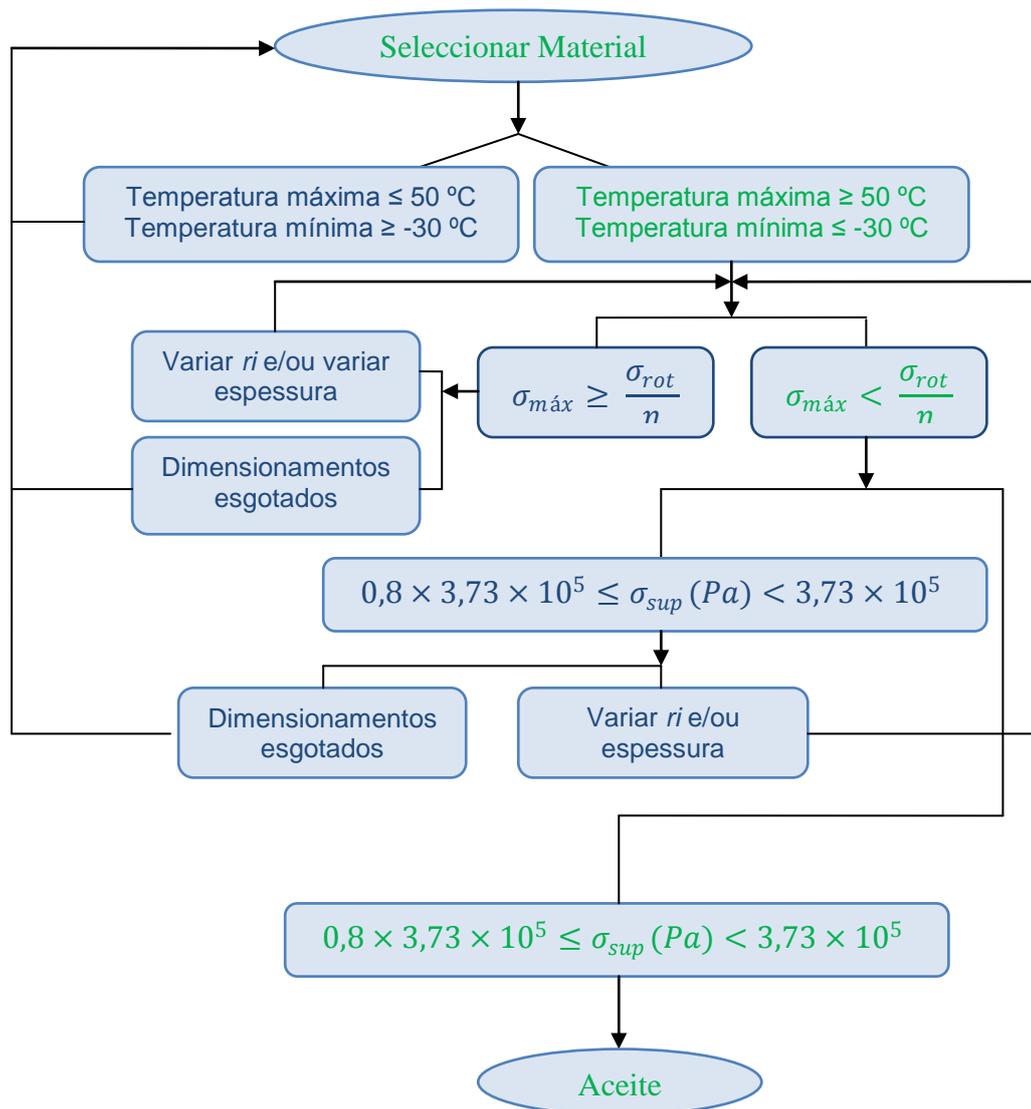
Metodologia

No processo de selecção de material, em primeiro lugar para o fixador com a geometria igual ao actual (circular) associado ao corpo 1, a nível de tensões, apenas se tem como critério as tensões superiores (por forma às especificações virem cumpridas), uma vez que ainda não se sabe o valor da tensão lateral exercida pelo fixador (característica associada à necessidade existente da mola “não se desmontar facilmente”). Depois de satisfeitas as condições apresentadas no diagrama (fig.3.26), obtém-se um ou mais fixadores com um determinado material, sendo possível assim usar a sua tensão lateral (determinada através de elementos finitos), como referência para as geometrias seguintes a analisar. Geometrias essas, que estão associadas ao corpo 1 (geometria rectangular) e ao corpo 2 (geometria circular e rectangular).

Apresentam-se assim duas metodologias, a primeira associada ao corpo 1 com geometria circular, onde se consegue obter a tensão lateral do fixador como referência, e a segunda associada às geometrias restantes, com as devidas alterações tratando-se de geometria circular/rectangular ou do corpo 1/2.

É importante referir, que em ambas as metodologias, quando não são satisfeitas as condições intermédias (por exemplo a tensão máxima de Von Mises inferior à tensão de cedência), varia-se aumentando ou diminuindo as dimensões, através de iterações visto estar-se perante elevadas variáveis. Isto é, trata-se de dimensões necessárias para se obter um determinado valor de tensão superior, bem como lateral (através da força elástica do elastómero), sem no entanto causarem uma tensão de Von Mises máxima que provoque deformação plástica, que no caso dos elastómeros equivale a dizer, entrar em rotura [26].

Corpo 1 – geometria circular (actual):



σ_{rot} = Tensão limite de rotura

σ_{max} = Tensão de Von Mises máxima no modelo

$n = 1,10$ = Coeficiente de segurança

Figura 3.26 – Selecção de material para fixador circular do corpo 1

Corpo 1 – geometria rectangular e (Corpo 2) – geometria (circular) e rectangular:

Nesta metodologia (fig.3.27), os valores entre parênteses dizem respeito à geometria circular no caso de dimensionamentos, sendo que ao corpo 2 dizem respeito os valores de tensão superior, uma vez que para garantir o cumprimento das especificações o valor da tensão exercida pelo fixador tem de ser superior, de modo a igualar a força resultante exercida pelo corpo de mola 1 (a área de aplicação da pressão é inferior no corpo 2).

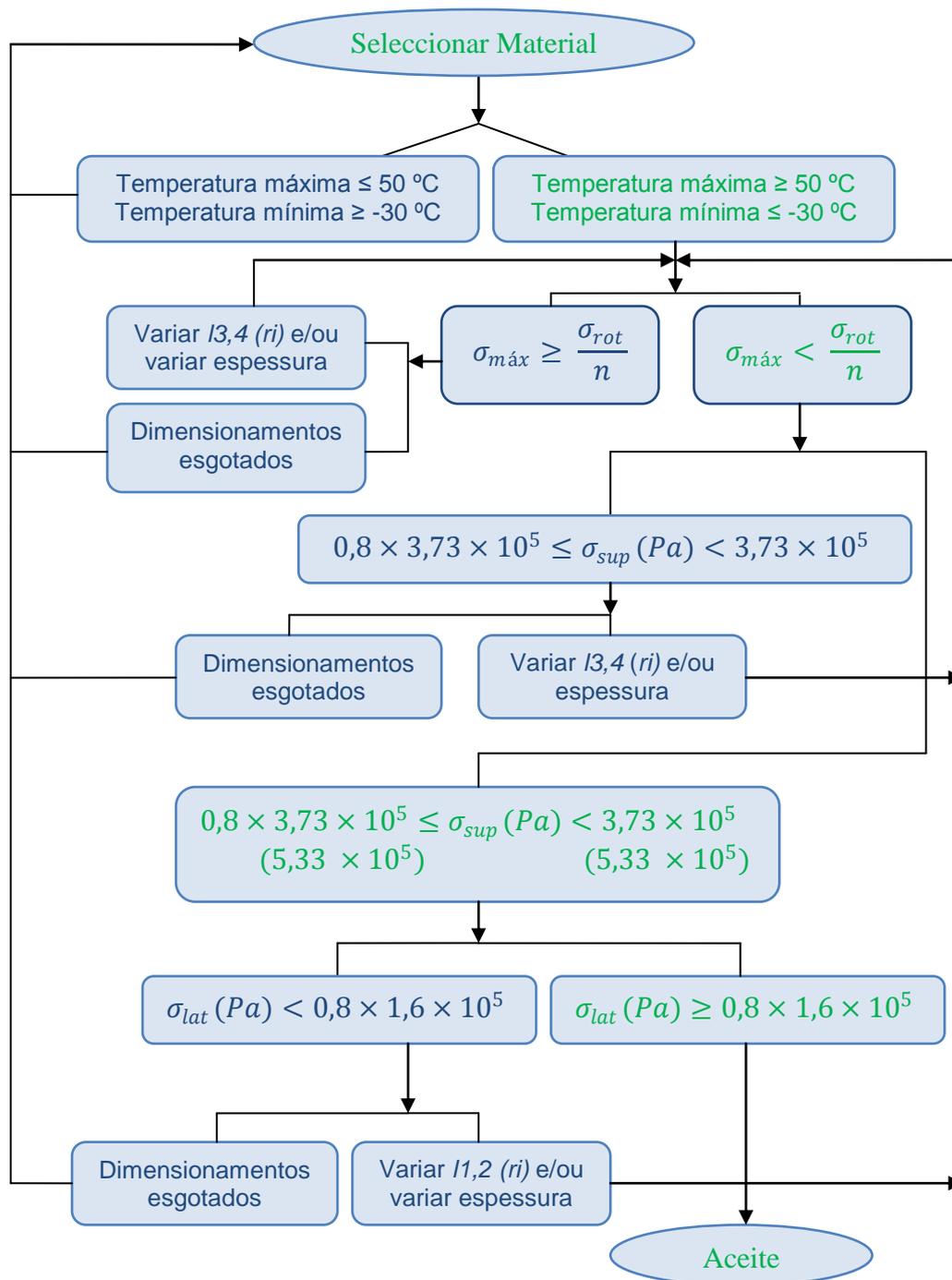


Figura 3.27 – Seleção de material para fixador retângular de corpo 1 e 2 e circular de corpo 2

Fixadores

Será fácil verificar que, através do gráfico da figura 3.14, a classe de materiais mais adequada a uma estrutura/geometria que necessite de um alongamento na ordem de 200% - 300%, ou seja que possua um módulo de elasticidade equivalente bastante baixo, é a classe dos polímeros – elastómeros e espumas. Por outro lado e refinando a seleção, a classe de

material que, para além do alongamento necessário, possua tensões de rotura na ordem dos 10 Mpa (o valor necessário conforme analisado nos parágrafos seguintes) é apenas a classe de polímeros – elastómeros (fig.3.13).

Seguindo na classe dos elastómeros, de acordo com a metodologia atrás apresentada, faz-se a selecção com o auxílio de elementos finitos (anexo 5), usando como lei do comportamento do material, o modelo de hiperelasticidade Ogden com três constantes, de modo a caracterizar e analisar da melhor forma o comportamento do fixador, com apenas a curva de tensão-extensão uniaxial disponível. Desta forma, foi possível seleccionar os materiais para cada uma das geometrias associadas a cada corpo de mola.

Os Materiais a analisar, classificados como borrachas sintéticas, estão apresentados na tabela 2.1, no entanto o material NBR foi o único excluído à partida devido ao seu elevado custo, sendo usualmente utilizado em aplicações específicas, nomeadamente mangueiras de combustível e vedantes, que reclamem uma boa resistência a óleos e solventes.

No anexo [5] apresenta-se o procedimento utilizado para a obtenção dos resultados abaixo apresentados. Para cada corpo/geometria, são apresentados de seguida os resultados, em que os custos são os propostos pela empresa Elastómeros J.V..

Corpo 1 – Geometria circular (I):

Para esta geometria, associado ao corpo 1, foi apenas possível, segundo a metodologia seleccionar um material – Silicone VMQ Dureza 40 Shore A. As dimensões finais e o desempenho, que permitiram a sua selecção estão apresentadas na tabela 3.19.

di/de	10 mm / 12 mm
Tensão de Von Mises	9,61 MPa
Coefficiente de segurança de rotura	1,14
Tensão na superfície 1	$3,40 \times 10^5$ MPa
Tensão na superfície 2	$3,58 \times 10^5$ MPa
Tensão na superfície lateral 1	$1,67 \times 10^5$ MPa
Tensão na superfície lateral 2	$1,64 \times 10^5$ MPa
Custo (cor / incolor)	0,45 €/m – 0,47 €/m

Tabela 3.19 – Desempenho do fixador de geometria circular I

Corpo 1 – Geometria rectangular (II):

Para esta nova geometria, apenas foi aceite o material Silicone VMQ dureza 40 Shore A, ou seja o mesmo do seleccionado no parágrafo anterior. As dimensões finais e desempenho, estão resumidos na tabela 3.20.

I1=I2 / L1=L2	5,0 mm / 6,6 mm
I3=I4 / L3=L4	11,0 mm / 12,6 mm
Tensão de Von Mises	6,79 MPa
Coefficiente de segurança de rotura	1,61
Tensão na superfície 1	$3,23 \times 10^5$ MPa
Tensão na superfície 2	$3,30 \times 10^5$ MPa
Tensão na superfície lateral 1	$1,59 \times 10^5$ MPa
Tensão na superfície lateral 2	$1,62 \times 10^5$ MPa
Custo (cor / incolor)	0,36 €/m – 0,38 €/m

Tabela 3.20 – Desempenho do fixador de geometria rectangular II

Corpo 2 – Geometria circular:

Para esta geometria, associada ao corpo com redução lateral de massa, não foi possível dimensionar para nenhum material dos analisados o fixador, uma vez que para possuir a tensão lateral necessária, a tensão superior vinha bastante elevada (fora dos valores aceitáveis da metodologia) bem como a tensão de Von Mises que ultrapassara largamente a tensão de rotura do material (10,9 MPa).

Corpo 2 – Geometria rectangular estreito (III):

Neste caso, mais uma vez o único material aceite foi o mesmo dos usados nos casos anteriores, isto é - VMQ dureza 40 Shore A, estando as dimensões e desempenho apresentados na tabela 3.21.

I1=I2 / L1=L2	3,50 mm / 5,50 mm
I3=I4 / L3=L4	11,0 mm / 13,0 mm
Tensão de Von Mises	7,70 MPa
Coefficiente de segurança de rotura	1,42
Tensão na superfície 1	$4,45 \times 10^5$ MPa
Tensão na superfície 2	$4,50 \times 10^5$ MPa
Tensão na superfície lateral 1	$1,40 \times 10^5$ MPa
Tensão na superfície lateral 2	$1,60 \times 10^5$ MPa
Custo (cor - incolor)	0,33 €/m - 0,35 €/m

Tabela 3.21 – Desempenho do fixador de geometria rectangular III

Uma vez gerados os fixadores para todos os modelos de corpos de mola, ficam gerados todos os modelos finais, como apresentado na secção seguinte.

3.2.4 - Seleccção de Modelos

Para a selecção de modelos, fase final do desenvolvimento de produto, adopta-se a técnica de Análise do Valor como critério de selecção, de modo a contabilizar não só os custos, mas também o desempenho de cada modelo desenvolvido (qualidade).

3.2.4.1 – Modelos Finais

Deste modo apresenta-se resumidamente cada modelo de mola, com as suas características, onde:

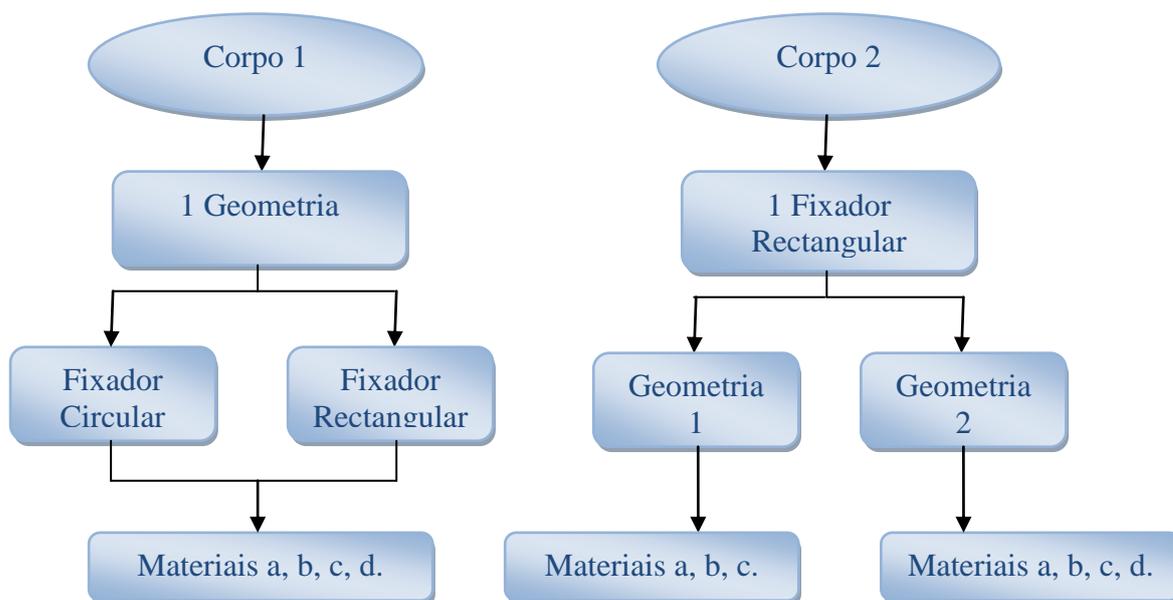


Figura 3.28 – Diagrama de modelos finais desenvolvidos

Corpo 1 – Modelo com corpo de mola sem redução de massa.

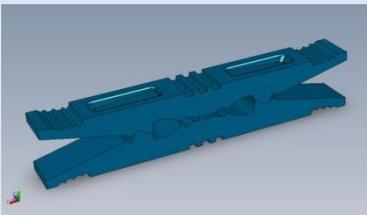
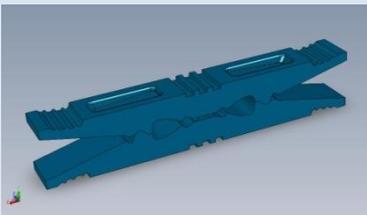
Corpo 2 – Modelo com corpo de mola com redução de massa:

- Geometria 1 - Modelo com corpo de mola com maior redução de massa.
- Geometria 2 – Modelo com menor redução de massa.

Os valores de comportamento dos modelos, foram actualizados com os valores efectivos de pressão exercida pelos fixadores já gerados, resultando em valores de melhor comportamento mecânico (projectando com maior segurança), mas por outro lado pior desempenho na necessidade existente – força de fixação elevada, uma vez que a força de fixação baixa com a tensão mais exercida pelo fixador (para a mesma geometria de corpo de mola).

Os custos abaixo apresentados (Custo Total Marginal), que resultam da soma do custo do molde, do custo total do fixador e do custo da matéria-prima. Deste modo, contabilizam-se todos os custos que variam de modelo para modelo, considerando que os restantes custos de produção (custos de edifício, de energia, de manutenção, de mão-de-obra e custos fixos indirectos), são constantes de modelo para modelo.

Apresenta-se assim na tabela 3.22, os modelos finais com os valores característicos já actualizados, como consequência dos valores obtidos na geração de fixadores, ou seja os valores reais de comportamento mecânico das molas para roupa desenvolvidas:

Corpo 1 Fixador Circular I	Geometria	Material a	Material b	Material c	Material d
Coefficiente de segurança		1,30	1,34	1,30	1,26
Deformada na extremidade (mm)		2,17	1,17	1,18	1,17
Força de abertura (N)		21,98			
Força de fixação (N)		15,48			
Custo Total Marginal (Eur)		36694	46822	45153	52222
Corpo 1 Fixador Rectangular II		Geometria	Material a	Material b	Material c
Coefficiente de segurança		1,39	1,43	1,39	1,35
Deformada na extremidade (mm)		2,03	1,09	1,10	1,09
Força de abertura (N)		20,56			
Força de fixação (N)		14,48			
Custo Total Marginal (Eur)		34750	44878	43209	50278

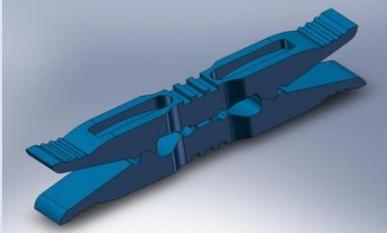
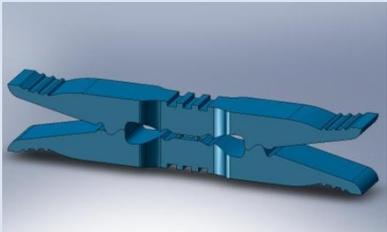
Corpo 2.1 Fixador Rectangular III	Geometria	Material a	Material b	Material c	Material d
Coeficiente de segurança		1,32	1,39	1,35	N.S
Deformada na extremidade (mm)		2,44	1,29	1,31	N.S
Força de abertura (N)		19,73			
Força de fixação (N)		13,89			
Custo Total Marginal (Eur)		33159	41486	40111	N.S
Corpo 2.2 Fixador Rectangular III		Geometria	Material a	Material b	Material c
Coeficiente de segurança		1,34	1,40	1,36	1,32
Deformada na extremidade (mm)		1,65	0,95	0,97	0,95
Força de abertura (N)		19,73			
Força de fixação (N)		13,89			
Custo Total Marginal (Eur)		34366	43978	42420	49135

Tabela 3.22 – Desempenho e custos dos modelos finais desenvolvidos

3.2.4.2 – Determinação do Valor

O valor de cada modelo é calculado através da qualidade de cada função juntamente com a importância de cada função e os custos totais, correspondente às etapas a vermelho do diagrama da figura 3.2. Para comparação dos modelos finais desenvolvidos, com o modelo actual caso este fosse o escolhido para produção na empresa Fapil, é calculado igualmente o valor para este. No entanto, este está presente apenas como comparação e não como possível selecção, na medida em que a sua geometria não permite a satisfação das especificações a atingir (tab.3.9).

Matriz Qualidade

Em primeiro lugar é determinada a qualidade das funções para o actual produto (tab.3.10), sendo de seguida determinada a qualidade segundo o mesmo procedimento para os modelos desenvolvidos.

Modelo actual

Para contabilizar a qualidade existente na função “prender roupa” (tab.3.23), o critério consistiu em comparar a força de fixação com as restantes molas concorrentes e atribuir uma escala, uma vez que é este o parâmetro característico da função. Deste modo atribuiu-se uma escala linear de 1 a 10, correspondendo o 1 ao pior desempenho e 10 ao melhor desempenho:

Escala (linear)	Função	Qualidade
Qualidade 1 = 8,37 N Qualidade 10 = 21,25 N	Qualidade = $0,699 \times F_{\text{fixação}} - 4,85$	Qualidade ($F_{\text{fixação}} = 17,83$) = $7,6 \approx 8$

Tabela 3.23 – Determinação de qualidade da função “prender roupa” do modelo actual

A função “ser amigável”, foi quantificada através de 3 parâmetros de igual peso: força de abertura, aderência da pega e ergonomia (tab.3.24).

A força de abertura foi quantificada de modo análogo ao efectuado para a função “prender roupa”. Os restantes parâmetros foram classificados na mesma escala (1 → 10), com o auxílio da identificação das necessidades do cliente (capítulo 3.2.1):

Parâmetro	Descrição	Qualidade
Força de abertura	Pior valor das molas analisadas	1
Aderência da pega	Necessidade do cliente	4
Ergonomia	Necessidade do cliente	3
Total		$(1 + 4 + 3)/3 = 2,7 \approx 3$

Tabela 3.24 - Determinação de qualidade da função “Ser amigável” do modelo actual

Para a função “ser robusto”, a metodologia adoptada foi a mesma do que na função “prender roupa”.

No caso de a função “ser estético”, uma vez que esta não foi referida por parte dos utilizadores, torna-se a função com a qualidade mais subjectiva, entendendo-se no entanto que a qualidade da actual mola para roupa, possui o valor de 8, uma vez que não possui arestas arredondadas nem fixador transparente.

A qualidade das funções da mola actual está assim resumida na tabela 3.25, com o valor da qualidade arredondado às unidades.

Mola para roupa	Descrição	Qualidade
Prender roupa	Força de fixação	8
Ser amigável	Força de abertura, eficácia e ergonomia	3
Ser robusto	deformada	9
Ser estético	Aditivo cor, raio de curvatura nas arestas.	8

Tabela 3.25 – Qualidade do modelo actual

Modelos finais

O procedimento adoptado é o mesmo do seguido para o produto actual, sendo o valor da qualidade arredondado às unidades (tab.3.26):

Qualidade	Prender roupa	Ser amigável	Ser robusto	Ser estético
Modelo 1.I.a	6	7	7	8
Modelo 1.I.b			9	
Modelo 1.I.c			9	
Modelo 1.I.d			9	
Modelo 1.II.a	5	7	7	8
Modelo 1.II.b			9	
Modelo 1.II.c			9	
Modelo 1.II.d			9	
Modelo 2.1.a	5	8	6	10
Modelo 2.1.b			8	
Modelo 2.1.c			8	
Modelo 2.2.a	5	8	8	10
Modelo 2.2.b			9	
Modelo 2.2.c			9	
Modelo 2.2.d			9	

Tabela 3.26 – Qualidade dos modelos finais desenvolvidos

Importa realçar, os critérios usados para quantificar a qualidade, da função “ser amigável” e da função “ser estético”, ou seja, aquelas em que não se adoptou o método linear usado nas outras funções:

“Ser amigável” – constituída por 3 parcelas (força de abertura, ergonomia e aderência da pega), em que na ergonomia a qualidade 7 atribuída aos corpos 1 deve-se ao facto de já existir uma concavidade na pega. No entanto devido ao raio de curvatura nessa zona para remoção de material nos corpos 2, a qualidade é de 10, já

que permite uma melhor ergonomia devido à ausência de depressão na passagem para a concavidade.

A parcela de aderência tem qualidade 8, para todos os modelos desenvolvidos, uma vez que estes já possuem concavidade na pega (melhor aderência e ergonomia), no entanto não é atribuída melhor classificação uma vez que as arestas da pega possuem raio de curvatura (melhor ergonomia), não permitindo aderência superior caso estas não o tivessem. A força de abertura é quantificada de igual modo daquele usado no modelo actual. No final a função vem quantificada através da média das 3 parcelas.

“Ser estético” - é a função mais subjectiva, logo a mais difícil de quantificar, no entanto atribui-se a mesma classificação da mola actual aos corpos 1, uma vez que não existe alterações significativas a nível visual do produto. Para o caso dos corpos 2, uma vez que o fixador já não está saliente lateralmente, algumas arestas possuem raio de curvatura, a qualidade vem acrescida para 10.

Valor

O valor é determinado para todos os modelos (desenvolvidos e actual), através do quociente entre a soma total de qualidade x importância e o custo total marginal (tab.3.27):

Qualidade x importância	Prender roupa	Ser amigável	Ser robusto	Ser estético	Total	Custo Total Marginal *	Valor
Modelo 1.I.a	3,20	1,88	1,25	0,16	6,49	0,015289	424,5
Modelo 1.I.b			1,60		6,84	0,019509	350,6
Modelo 1.I.c			1,60		6,84	0,018814	363,6
Modelo 1.I.d			1,60		6,84	0,021759	314,4
Modelo 1.II.a	2,67	1,88	1,25	0,16	5,96	0,014479	411,6
Modelo 1.II.b			1,60		6,31	0,018699	337,5
Modelo 1.II.c			1,60		6,31	0,018004	351,2
Modelo 1.II.d			1,60		6,31	0,020949	301,2
Modelo 2.1.a	2,67	2,14	1,07	0,20	6,08	0,013816	440,1
Modelo 2.1.b			1,42		6,43	0,017286	372,0
Modelo 2.1.c			1,42		6,43	0,016713	384,7
Modelo 2.2.a	2,67	2,14	1,42	0,20	6,43	0,014319	449,1
Modelo 2.2.b			1,60		6,61	0,018324	360,7
Modelo 2.2.c			1,60		6,61	0,017675	374,0
Modelo 2.2.d			1,60		6,61	0,020473	322,9
Modelo actual	4,27	0,8	1,60	0,16	6,83	0,021706	314,7

Tabela 3.27 – Determinação do Valor dos modelos finais desenvolvidos

Da tabela 3.27, conclui-se que a metodologia adoptada para a geração de modelos, a partir das necessidades do cliente, do benchmarking e da análise funcional respeitante à técnica de Análise do Valor, permitiu gerar modelos com maior valor, através da redução de custos total e do aumento da qualidade da função “ser amigável”, conforme previsto na análise funcional (capítulo 3.2.3.1). Apenas os modelos 1.I.d e 1.II.d, possuem valor mais baixo que o actual, devido aos custos elevados da matéria-prima sem acréscimo significativo de qualidade.

3.2.4.3 – Especificações Finais para 2.400.000 de unidades de volume de produção

Uma vez determinado o Valor para 2.400.000 de molas, será fácil verificar que o modelo seleccionado, de acordo com o critério estabelecido (maior Valor), para este volume de produção é o modelo 2.2.a com o Valor de 449,1 (mais 43% face ao actual), associado a uma qualidade total de 6,43, que não sendo a mais alta situa-se exactamente a meio dos valores associados aos outros modelos, e a um custo marginal associado de 0,014319 Eur / produto.

Será feita uma análise comparativa (no capítulo seguinte), envolvendo o volume de produção, de forma a apresentar os modelos com maior valor, ou seja os seleccionados para determinados intervalos de volume de produção.

4 - Análise Comparativa de Modelos Finais

No capítulo anterior, efectuou-se a selecção de modelos com a metodologia de Análise do Valor, para a produção de 2.400.000 de molas. No entanto essa mesma selecção é condicionada pelo volume de produção, uma vez que o custo do molde é fixo e as diferenças de custo da matéria-prima tornam-se mais acentuadas com um maior volume de produção. Deste modo, procurou-se analisar o valor de cada modelo em função do volume de produção, através da representação gráfica para cada modelo. O mesmo foi feito, tendo em conta apenas como critério de selecção o custo total marginal. As representações gráficas, bem como os dados resultantes, são obtidos através do programa informático *Advanced Grapher version 2.11 - Copyright © 1998-2005 Alentum Software, Inc.*

4.1 – Análise do Valor com Volume de Produção

A sobreposição de todas as curvas num gráfico, mostra que é difícil por inspecção visual, obter os modelos que acrescentam maior valor (fig.A60). Desta forma opta-se por analisar os gráficos correspondentes ao corpo 1 (8 modelos), seleccionando aqueles com maior valor nos vários intervalos de volume de produção, efectuando o mesmo para os corpos 2. Assim foi possível obter os modelos com maior valor até a um volume de produção de aproximadamente 10.000.000 de unidades de molas (fig.A61). Os pontos de intersecção dos gráficos permitiram seleccionar os modelos, associados a intervalos de volume de produção (tab.4.1):

Volume de produção	[0→146.260]	[146.260→935.412]	[935.142→3.955.182]	[3.955.182→...]
Valor na intersecção	99,28	318,48	500,64	...
Modelo com maior valor	1.I.c	1.I.a	2.2.a	2.1.a
Qualidade Total	6,84	6,49	6,43	6,08

Tabela 4.1 – Modelos de maior valor em função do volume de produção

É possível verificar, que inicialmente o modelo com maior valor é o 1.I.c até 146.260, sendo que depois deste valor de volume de produção, o valor mais elevado de qualidade do modelo 1.I.c não compensa o custo mais elevado da sua matéria-prima. Aqui passa a ser o modelo 1.I.a o que tem maior valor, sendo que a seu qualidade e o custo mais baixo do seu molde não compensa a diferença de custo de matéria-prima (redução) necessária para o modelo 2.2.a a partir de 935.412 de unidades de mola. Só a partir de 3.955.182 molas, é que o modelo 2.1.a consegue maior valor, devido à compensação tardia da reduzida matéria-prima necessária, em relação à sua baixa qualidade relativa e custo de molde mais elevado.

4.2 – Análise do Custo com Volume de Produção

Este ponto apenas tem como critério de selecção, o custo total marginal, usando o mesmo programa do subcapítulo anterior, efectua-se uma análise gráfica (fig.A62) até ao volume de produção de 10.000.000, de forma a ser possível obter os modelos com menor custo em intervalos de volume de produção (tab.4.2):

Volume de produção	Custo na intersecção	Modelo com menor custo	Qualidade total
[0→1.637.897]	0,01599	1.II.a	5,96
[1.637.897→...]	...	2.1.a	6,08

Tabela 4.2 – Modelos de menor custo em função do volume de produção

Como seria de esperar, os modelos seleccionados, são aqueles que possuem menor qualidade. Verifica-se que até 1.637.897 molas o modelo 1.II.a possui um custo inferior ao modelo 2.1.a, uma vez que o baixo custo do seu molde, compensa a redução de custo do modelo 2.1.a em relação à menor quantidade de matéria-prima (Kg) e ao seu fixador rectangular estreito (III) até esse volume de produção.

4.3 – Comparação dos Modelos Seleccionados e Modelo Actual

Apresenta-se na tabela A60 do anexo 6, a comparação de todos os modelos seleccionados neste capítulo juntamente com o modelo actual, onde se pode visualizar os intervalos de produção para os quais os modelos possuem maior valor ou menor custo e a sua qualidade total.

Verifica-se que o modelo actual é o segundo modelo com maior qualidade total, no entanto, para além dos seus custos serem elevados conduzindo-o a um baixo Valor, este não corresponde às especificações a atingir (tab.3.9), sendo por isso excluído da análise como modelo a seleccionar, mas não numa análise comparativa com os modelos seleccionados (quer nesta secção quer no subcapítulo 3.2.4).

5 - Introdução ao Desenvolvimento do Sistema de Montagem

Após o modelo 2.2.a ter sido seleccionado para um volume de produção de 2.400.000 molas, inicialmente pretendido pela empresa Fapil num ano, segue-se uma análise ao conceito da ferramenta que permita a montagem do fixador (Silicone) no corpo da mola (polipropileno), de forma a não só, validar a montagem dos modelos desenvolvidos, como também apresentar uma boa base para um trabalho futuro de desenvolvimento de um sistema de montagem.

Tratando-se de uma máquina industrial para montagem de um produto final, ou seja, um produto - máquina de montagem já definido, com as necessidades do cliente (empresa), já identificadas, a introdução ao sistema de montagem resume-se, às especificações a atingir e à geração do conceito funcional do sistema de montagem [18], que se encontra no anexo 7.

5.1 – Especificações a atingir

As especificações funcionais (1,2), estão já identificadas após se terem desenvolvido os modelos seleccionados para intervalos de volume de produção, no entanto:

3 – Cadência:

2.400.000 molas num ano = 20,8 ≈ 21 molas / minuto

- Considerando 240 dias de trabalho anuais e 8 horas de trabalho diário.

4 – Margem para custo da máquina:

Considerando os custos de edifício, de energia, de manutenção, de mão-de-obra e custos fixos indirectos, como 20 % do custo total marginal calculado no capítulo 4 e 5 do modelo do modelo seleccionado, a margem máxima para o custo da máquina é:

Custo máximo = Custo actual contratado – 1,20 x Custo total marginal

Apresenta-se, na tabela 6.1 o custo máximo que a máquina poderá ter, na situação extrema, ou seja, sem que a empresa obtenha vantagem financeira sobre o contrato existente para o fabrico do actual produto. São apresentadas duas situações, uma correspondente a 1 ano de produção, outra correspondente a 3 anos de produção. Em ambas, considera-se que a máquina no final do período não possui valor comercial e que a produção média anual (2.400.000) é constante para todos os anos.

Importa referir, que o 0,05€/mola é o custo à Fapil pela subcontratação do fabrico, no entanto este é um preço por parte da empresa fornecedora do produto não sendo possível determinar qual a percentagem de lucro da mesma, para discriminar o custo real envolvido. Para 3 anos de produção, foram usados os dados do capítulo 5.

Anos de Produção	Volume de Produção	Modelo Seleccionado	Custo total marginal	Custo contratado (0,05 x vol.prod.)	Custo máximo da máquina
1	2.400.000	2.2.a	34.365,6 €	120.000	78.761,3 €
3	7.200.000	2.1.a	77.179,7 €	360.000	267.384,4 €

Tabela 5.1 – Custo máximo da máquina (“break even point”)

Apresenta-se assim na tabela 5.2 as especificações a atingir do sistema de montagem, considerando dois cenários de produção, 1 ou 3 anos:

Especificações	Descrição
1	Montar as duas partes constituintes do corpo de mola
2	Montar o fixador no corpo de mola
3	Fixador na montagem com, $\sigma_{m\acute{a}x} < \frac{\sigma_{ced}}{n}$, n = 1,10
4	Cadência de 21 molas por minuto
5	Custo inferior a 78.761,3 € (1 ano de produção); Custo inferior a 267.384,4 € (3 anos de produção).

Tabela 5.2 – Especificações do sistema de montagem

5.2 – Geração do conceito Funcional

Para introdução ao sistema de montagem de uma máquina para montagem de um produto, em ambiente industrial, após as especificações estarem estabelecidas, dá-se lugar à geração do conceito a nível funcional, ou seja um conceito que valide as funções estabelecidas nas especificações. Esta análise está efectuada no anexo 7, de forma a servir como uma boa plataforma a um trabalho futuro de desenvolvimento do sistema de montagem, tendo-se verificado não terem sido necessários ajustes na geração de modelos para validar a geração de um conceito funcional.

IV - Conclusões

Este trabalho teve como objectivo principal a inovação de produto numa PME, através do Desenvolvimento do Produto conduzido pela análise do valor, permitindo chegar a conclusões não só através da comparação do produto actual, com os produtos desenvolvidos neste estudo, mas também através de todo o processo de Desenvolvimento de Produto na sua forma estruturada e implementada.

Começando pela comparação do modelo seleccionado, através da técnica de inovação de Análise do Valor, com o actual modelo (para um volume de produção de 2.400.000 produtos definidos pela empresa Fapil), conclui-se que o processo de Desenvolvimento de Produto adoptado, resultou em Inovação, uma vez que o modelo seleccionado possui maior Valor (449,1) do que o modelo actual (314,7), ou seja mais 43% de Valor criado. Avançando mais nesta comparação, verifica-se que o maior valor é devido a um custo significativamente mais reduzido (- 34%), compensando largamente a qualidade total inferior ao modelo actual (- 6%), significando que é o modelo onde as funções que o cliente quer e está disposto a pagar, estão presentes ao mais baixo custo. Importa referir, que o modelo actual de mola, não satisfaz as especificações obrigatórias para os modelos desenvolvidos (capítulo 3.2.2.3).

Por outro lado, verificou-se através da análise Comparativa em função do volume de produção, com os critérios de Análise do Valor e Custo Total Marginal, que os dois conduzem a resultados diferentes. Na Análise do Valor, conclui-se que quanto maior for o volume de produção, menor será a qualidade do modelo seleccionado (capítulo 4.3), ou seja para os modelos que possuam redução de custo em matéria-prima (menor qualidade), mas cujos moldes são mais caros, estes apenas têm o maior Valor ao fim de volumes de produção mais elevados. Tal é devido ao custo do molde ser um custo fixo, evidenciando-se mais a redução de custo da matéria-prima, para valores mais elevados de volume de produção no custo total marginal. Desta forma conclui-se que para volumes de produção elevados, o custo ganha mais preponderância no Valor, do que a qualidade do produto (leia-se satisfação das necessidades do cliente).

No que diz respeito ao critério do Custo total Marginal, os modelos seleccionados (com menor custo), correspondem àqueles com menor qualidade, uma vez que dentro da mesma metodologia, critérios e técnicas adoptadas de desenvolvimento de modelos, menor qualidade significa maior redução de custos. A situação inverte-se relativamente à Análise do valor, já que para volumes de produção mais elevados, a qualidade é também mais elevada (tab.A60), devido à particularidade de o modelo 1.II.a (sem redução de massa), possuir um custo mais baixo do molde, mas por outro lado o seu maior custo de matéria-prima não permite obter melhor qualidade, devido ao fixador adoptado, desenvolver menor pressão. Assim o modelo com maior redução de custo de matéria-prima (no entanto com maior qualidade), vai apenas compensar o maior custo do molde necessário a essa mesma redução de material, ao fim de volumes de produção elevados.

A conclusão mais notória neste trabalho, reside no valor acrescentado que o processo de Desenvolvimento de Produto, com a abordagem de Análise do valor, permite em relação a uma abordagem apenas de custos, tão frequente em PME's sem estrutura interna especializada em Desenvolvimento de Produto. De facto esta abordagem tem em conta as funções da mola, ponderadas com a devida importância, resultantes da identificação das necessidades do cliente e do benchmarking, devidamente integrados em todo um processo desde o Planeamento de produto à geração de modelo e respectiva selecção, o que não acontece contabilizando apenas os custos. Deste modo um produto com mais valor acrescentado, significa um produto mais competitivo, na medida em que satisfaz mais as necessidades que o cliente está disposto a pagar.

No entanto o desenvolvimento de produto mola para roupa foi articulado, com o desenvolvimento do conceito funcional do sistema de montagem, o que permitiu a possibilidade de alteração do produto para possibilitar a montagem, aquando do seu desenvolvimento, reduzindo assim eventuais custos futuros. Dada a simplicidade do produto em causa, não foi necessário proceder a alterações durante o seu desenvolvimento, ficando no entanto implementada a metodologia para futuros projectos de forma a reduzir custos e tempo de lançamento do produto.

Em suma, este estudo permitiu concluir que a aplicação do Desenvolvimento de Produto, articulando e integrando a engenharia (geração de modelos e fixadores), com o planeamento de produto, as necessidades do cliente, o benchmarking, permite a obtenção de produtos finais com melhor desempenho, quer a nível do Valor quer a apenas a nível dos custos - (apenas modelo 1.I.d e 1.II.d com menor valor que o actual; apenas modelo 1.I.d com custo mais elevado que o actual).

Como trabalho futuro, propõe-se a geração do sistema de montagem com a definição da arquitectura do sistema, a selecção dos sistemas gerados com os devidos testes e estabelecimento de especificações finais.

V - Referencias Bibliográficas

- [1] Gieskes, J.F.B., Langenberg, I. Learning and Improvement in Product Innovation Processes, John Wiley & Sons, Vol.4, 2001.
- [2] Biemans, W.G., Managing Innovations Within Networks, New York: Routledge, 1992.
- [3] Karlsson C., Innovation Adoption and the Product Life Cycle, Umea Economic Studies N°185, University of Umea 1988.
- [4] Freeman, C., The Economics of Hope, London: Printer Publishers, 1992.
- [5] Widagdo, S., Product Design and Innovation, American Chemical Society, 2006.
- [6] Galbraith, J.K., The Affluent Society, Boston: Houghton Mifflin, 1956.
- [7] Georgescu, R.N., The Entropy Law and the Economic Process, Harvard University Press, 1971.
- [8] Utterback, J.M., Abernathy, W.J., A dynamic Model of Process and Product Innovation, Omega 3, p. 639 – 656, 1975.
- [9] Piergiovanni, R. Santarelli, E., Vivarelli, M., From Which Source Do Small Firms Derive Their Innovative Inputs?, Entrepreneurship Workshop, 1995.
- [10] Audretsch, D. B., Innovation and Small Firms, MIT Press, 1991.
- [11] Cohen, W.M. 1995, Empirical Studies of Innovative Activity, Stoneman, p.120 – 151, 1995
- [12] Karlsson, C., Product Development Innovation Networks and Agglomeration Economies, Jonkoping University, 1994.
- [13] Cohen, W.M, Levinthal, D.A., Innovation and Learning: The Two Faces of R&D, Economic Journal 22, p.569 – 596, 1989.
- [14] Gamber, M.S., Innovation Technical Assistance and Development: The Importance of Technology Users, World Development 16, p.711 – 721, 1988.
- [15] Roberts, E.D., What We've Learned – Managing Invention and Innovation, Research Technology management 1, p.11 – 29, 1988.
- [16] Hoffmann, E., Consumer Integration in Sustainable Product Development, John Wiley & Sons, 2007.
- [17] Magrab, E.B., Integrated product and process design and development, Crc press, 1997.
- [18] Ulrich, K.T., Eppinger, S.D., Product Design and Development, McGraw Hill, 2003.
- [19] Griffin A., Hauser J.R., The Voice of The Costumer, Market Science, Vol.12, N°1, p.1 – 27, 1993.

- [20] Hippel V.E., The Sources of Innovation, Oxford University Press, 1988.
- [21] Otto, K.N., Wood, K.L., Product design : techniques in reverse engineering and new product development, Prentice Hall, 2001.
- [22] Miles, L. D., Techniques of Value Analysis an Engineering, Eleanor Miles Walker, 1989.
- [23] Urban G.L., Hauser J.R., Design and Marketing of New Products, Second Edition, Prentice Hall, 1993.
- [24] Beer, F.P., Johnston, E.R, Mecânica Vectorial para Engenheiros, p. 72 – 270, p. 455 – 518, 2000.
- [25] Chang, R., Química, McGraw Hill,p.1089 - 1097,1994.
- [26] Smith, F.W., Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais, McGraw Hill, p. 329 – 435, 1998.
- [27] Gomes, M.M., Portal da Industria da Borracha, disponível em:
<http://www.rubberpedia.com/borrachas/borrachas.php>
- [28] Shigley J.E., Mischke, C.R., Budynas, R.G., Mechanical Engineering Design, McGraw Hill, p. 4 – 393, 2004.
- [29] Mullins, L., Softening of Rubber by Deformation, Vol. 42, p. 339 – 362, 1969.
- [30] Seider, W.D., Seader, J.D., Daniel, R., Product and Process Design Principles, John Wiley & Sons, 2004.
- [31] Icis, Cotação de matéria-prima na Europa, disponível em:
http://www.icispricing.com/il_shared/Samples/SubPage70.asp
- [32] Ides, Preços de matéria-prima disponível em:
<http://www.ides.com/resinprice/resinpricingreport.asp>
- [33] Beer, F.P., Johnston, E.R, Dewolf, J.T., Mechanics of Materials, McGraw Hill, p. 47 – 594, 2002.
- [34] Solidworks Corporation, Cosmosworks User's Guide, 2007
- [35] Payne, A.R., Scott, J.R., Engineering Design with Rubber, Maclaren & Sons, 1960.
- [36] Shim, V.P., Yang, M.L., Lim, C.T., Law, P.H., A Visco-Hyperelastic Constitutive Model to Characterize Both Tensile and Compressive Behavior of Rubber, Journal of Applied Polymer Science, Vol.92, p.523 – 531, 2004.
- [37] Pinto, J.R., Técnicas de Automação, ETEP, p. 3 – 56, p. 213 – 255, 2004.
- [38] Lu, F., Lin, Y., Lu, L., Constitutive behaviors of a silicone rubber at high strain rates, EDP Sciences, 2006.
- [39] Carvalho, J.R., Moraes, P.J. Orgãos de Máquinas, livros técnicos e científicos editora, 1978.

Anexo 1 – Análise estática em Elementos Finitos dos Corpos de Mola

O procedimento usado em elementos finitos, foi o mesmo para todos os corpos de mola, sendo apresentado o procedimento aplicado ao corpo da actual mola para roupa.

Elementos e Malha

De acordo com [34], o tipo de elementos disponíveis no programa usado (Cosmosworks) que constituem a malha, mais indicado para o sólido em análise, são elementos tetraédricos parabólicos (fig.A10), uma vez que representam melhor superfícies curvas e produzem aproximações matemáticas com maior precisão.

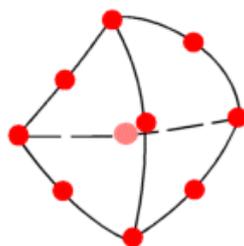


Figura A10 – Elemento tetraédrico parabólico

A malha usada, foi refinada nas zonas propensas a concentração de tensões e em zonas críticas (verificadas após se ter obtido os primeiros resultados), nomeadamente junto ao eixo de rotação/apoio do corpo de mola (fig.A11).

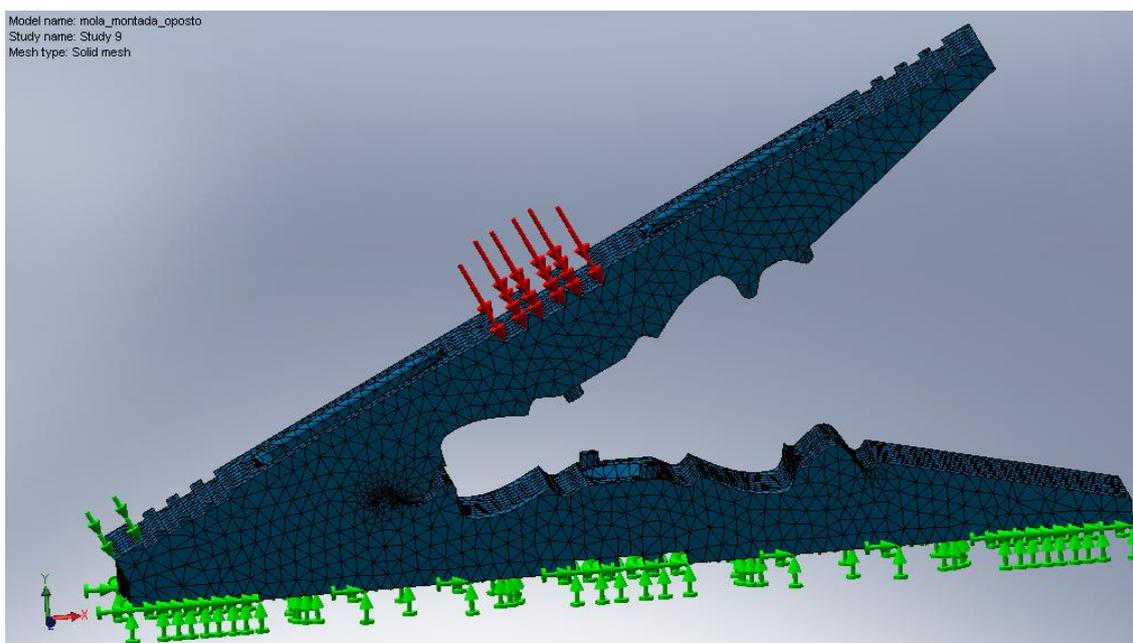


Figura A11 – Malha e condições fronteira do modelo actual

Condições Fronteira

Foi definido como posição mais adversa a da figura A11, uma vez que em condições normais de utilização do produto, é aquela em que o fixador exerce maior pressão no corpo da mola, causando maiores tensões e deformações no modelo (a pior condição de utilização). O posicionamento do dedo do utilizador, foi analisado no programa, tendo sido o representado na figura A11, aquele que conduzia aos valores mais elevados de tensões e deformações.

Foi considerado, que a base (a parte inferior do corpo da mola) está fixa a uma superfície, ficando a parte superior do corpo a suportar as tensões mais elevadas (aquela onde é aplicado o momento flector e o esforço transverso). A pressão (setas a vermelho na figura A11) tem o valor obtido experimentalmente de 373362 N/m^2 , sendo suportada pelo utilizador representado pelo constrangimento de deslocamento zero, perpendicular à superfície da mola.

Na aplicação da pressão o fixador, foi aproximado o facto de a pressão ser uniforme em todo o comprimento da superfície de apoio do fixador, devido ao seu curto comprimento.

Modelo de Material

O modelo de material usado para o estudo dos corpos de mola (termoplástico polipropileno), foi o modelo linear elástico isotrópico, em que se assume que as propriedades do material não variam com as direcções. O facto do modelo ser linear ($\sigma = E \cdot \epsilon$), isto é ser de acordo com a lei de Hooke, permite apenas que se use quando se está perante baixas deformações, uma vez que para elevadas deformações o módulo de elasticidade varia, sendo necessário efectuar iterações aumentando gradualmente o valor das cargas (pressão) até ao seu valor real [34] num processo mais moroso.

Resultados

Os resultados foram obtidos, para as duas situações de abertura máxima (lados opostos), tendo sido registados os valores mais elevados de tensões e deformações como característicos do modelo.

Foi possível verificar qual a tensão máxima (fig.A12) e em que zona ocorre no modelo, segundo o critério de plasticidade de Von Mises (anexo 3), ou seja a tensão que permite saber quando se entra em deformação plástica (permanente), ao igualar a tensão de cedência do material.

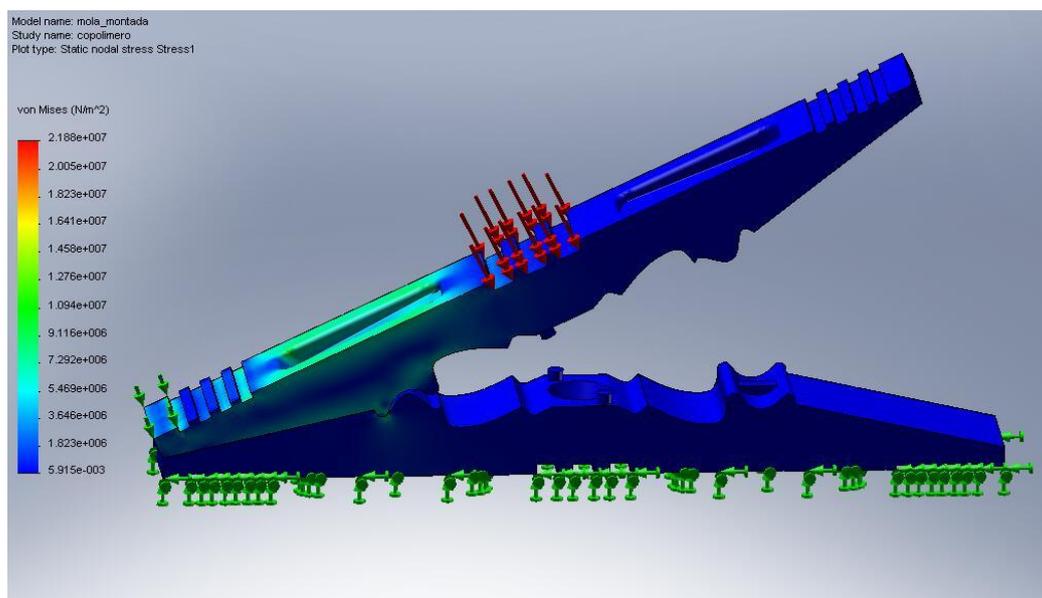


Figura A12 – Tensão de Von Mises máxima no modelo actual

De facto a zona de apoio/rotação do corpo da mola é aquela em que se verifica a maior tensão de Von Mises (verificado em todos os modelos desenvolvidos), conforme a figura A12.

Quanto à deformada em y (vertical), também é possível saber o seu valor máximo bem como a respectiva localização no corpo de mola (fig.A13):

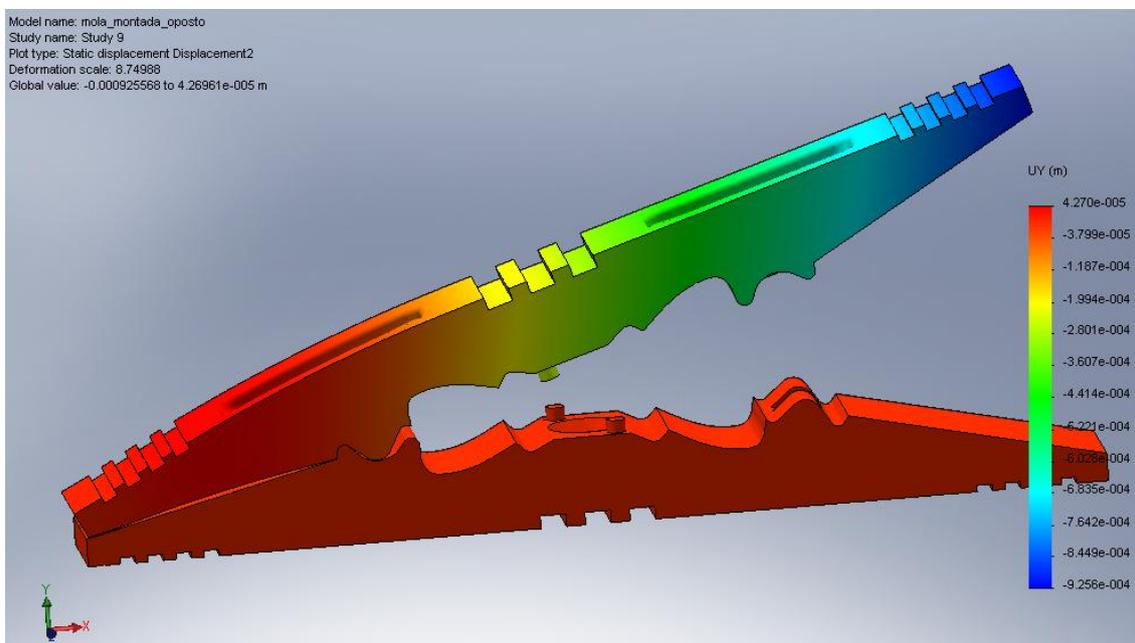


Figura A13 – Deformada em y no modelo actual

O valor mais elevado de deformada em y registou-se na extremidade oposta (a azul) àquela onde o utilizador pressiona para a abertura da mola (fig.A13).

Importa realçar a sequência de cálculo do programa para compreender os diferentes valores de tensão, no uso de matérias diferentes (módulos de elasticidade diferentes) na mesma geometria:

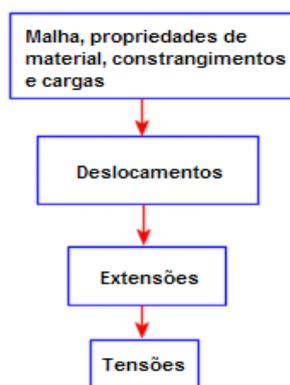


Figura A14 – Sequência de cálculo em elementos finitos

Desta forma devido a módulos de elasticidade diferentes, com base na sequência de cálculo da figura A14, as aproximações resultantes geram tensões diferentes.

Anexo 2 – Cálculo das forças características das molas concorrentes

O presente anexo apresenta O procedimento adoptado no cálculo das forças de abertura e fixação.

Na tabela A20, calcula-se a **força do fixador** através de um equilíbrio de momentos (eq.A20) [24]:

$$F_{\text{fixador}} = [\text{Distância1} \times F_{\text{medida}} \times \text{Cos}(\hat{\text{ângulo}})] / \text{Distância2} \quad \text{Equação A20}$$

Mola	Comprimento (mm)	Distância 1 (mm)	Distância 2 (mm)	Ângulo	Força medida (Kgf)	Força do fixador (N)
1	52	20,0	11,0	22,17	2,35	38,82
2	74	35,0	11,0	18,43	0,85	25,17
3	73	39,0	7,0	7,25	1,40	75,91
4	78	34,0	17,0	17,82	1,70	31,75
5	78	31,5	15,0	30,96	2,05	36,22
6	74	30,0	15,0	19,98	1,65	30,42
7	78	31,5	15,0	30,96	2,85	50,98

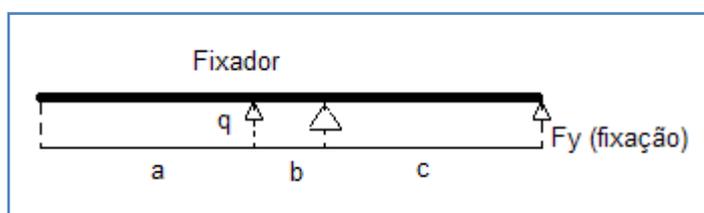
Tabela A20 – Força dos fixadores das molas concorrentes

Distância 1: distância entre a força aplicada e o eixo de rotação.

Distância 2: distância entre o fixador e o eixo de rotação.

Comprimento: comprimento entre extremos da mola.

No caso da mola 3, o diagrama muda ligeiramente, já que o fixador está posicionado de forma diferente, em que para o caso da determinação da força de fixação:



Em todas as molas concorrentes analisadas, o fixador é de material metálico, sendo uma boa aproximação, devido à reduzida área de contacto deste com as 2 partes integrantes da mola a representação do fixador por uma carga pontual (força) e não por uma força distribuída ou pressão.

A **força de abertura e de fixação** foi determinada (tab.A21) de igual modo ao usado para o actual produto com as devidas aproximações de nomenclatura (eq.A21/2):

$$F_a = (f_{\text{fixador}} \times \text{distância2}) / \text{distância3} \quad \text{Equação A21}$$

$$F_f = (F_{\text{fixador}} \times \text{Distância2}) / \text{distância4} \quad \text{Equação A22}$$

Onde,

Distância 3: distância da extremidade da pega ao eixo de rotação.

Distância 4: distância do eixo de rotação ao ponto de fixação.

Mola	Distância 3 (mm)	Distância 2 (mm)	Força de abertura (N)	Distância 4 (mm)	Força de fixação (N)
1	27	11,0	15,82	24	17,79
2	36	11,0	7,69	37	8,37
3	41	7,0	12,96	25	21,25
4	38	17,0	14,20	41	13,16
5	32	15,0	16,98	38	14,30
6	30	15,0	15,21	37	12,33
7	32	15,0	23,90	38	20,12

Tabela A21 – Força de abertura e fixação das molas concorrentes

Anexo 3 – Critério de Plasticidade

O critério de plasticidade adoptado ao longo deste estudo é o critério de Von Mises (fig.A30). Segundo este critério o material entra em plasticidade, sempre que a energia de distorção por unidade de volume atinge ou supera o valor da energia de distorção por unidade de volume para cedência no ensaio de tracção uniaxial. A tensão de Von Mises é então dada pela equação A30 e pela equação A31 no caso de tensão plana:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) \right]^{1/2} \quad \text{Equação A30}$$

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} \quad \text{Equação A31}$$

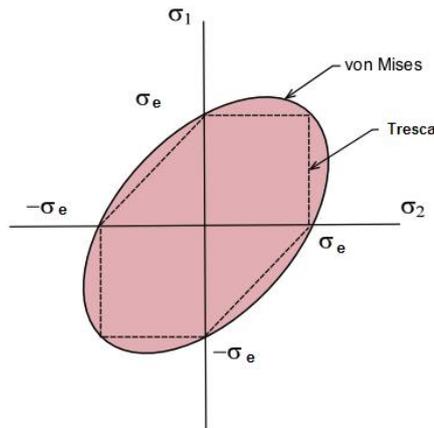


Figura A30 – Critério de Von Mises

Este critério é o menos “conservador” dos existente, bastando para isso comparar com outro critério de plasticidade (Tresca) na figura A30, ou seja permite valores mais elevados de tensão antes de chegar ao limite elástico definido pelo critério [28]. Este critério foi usado no dimensionamento dos fixadores para avaliar a entrada em rotura, uma vez que nos elastómeros o intervalo entre a cedência e a rotura é quase inexistente, sendo uma fronteira difícil de definir [29], razão pela qual é a tensão de referência nesta classe de materiais.

Anexo 4 – Desempenho dos corpos de mola 2

O desempenho relativo às duas geometrias do corpo 2, associadas aos materiais em estudo, está apresentado nas tabelas A40 - A47.

Tabela A40 - Geometria (1) / Material PP 1063L1 (a)

Coeficiente de segurança à cedência	1,10
Tensão de Von Mises máxima	29,83 MPa
Deformada na extremidade (y)	2,92 mm
Volume	6472 mm ³
Massa	5,82 × 10 ⁻³ Kg
Custo MP × (2,4 × 10 ⁶ molas)	15938 € [5,82 × 10 ⁻³ × (1,091 + 0,05) × 2.400.000]

Tabela A41 - Geometria (1) / Material HMU 210 (b)

Coeficiente de segurança à cedência	1,16
Tensão de Von Mises máxima	29,18 MPa
Deformada na extremidade (y)	1,53 mm
Volume	6472 mm ³
Massa	6,73 × 10 ⁻³ Kg
Custo MP × (2,4 × 10 ⁶ molas)	24373 €

Tabela A42 - Geometria (1) / Material ML 4340 (c)

Coeficiente de segurança à cedência	1,13
Tensão de Von Mises máxima	29,18 MPa
Deformada na extremidade (y)	1,56 mm
Volume	6472 mm ³
Massa	6,60 × 10 ⁻³ Kg
Custo MP × (2,4 × 10 ⁶ molas)	22984 €

Tabela A43 - Geometria (1) / Material HMU 216 (d)

Coeficiente de segurança à cedência	1,09
Tensão de Von Mises máxima	29,18 MPa
Deformada na extremidade (y)	1,53 mm
Volume	6472 mm ³
Massa	6,80 × 10 ⁻³ Kg
Custo MP × (2,4 × 10 ⁶ molas)	28886 €

Apresentam-se agora os dados relativos, à nova geometria que satisfaça as especificações com o material HMU 216, uma vez que este não foi aceite na geometria anterior (fig.3.15), devido ao coeficiente de segurança inferior a 1,10. Analisa-se também nesta geometria os outros materiais.

Tabela A44 - Geometria (2) / Material HMU 216 (d)

Coeficiente de segurança à cedência	1,10
Tensão de Von Mises máxima	28,92 MPa
Deformada na extremidade (y)	1,13 mm
Volume	7399 mm ³
Massa	7,77 × 10 ⁻³ Kg
Custo MP × (2,4 × 10 ⁶ molas)	33007 €

Tabela A45 - Geometria (2) / Material PP 1063L1 (a)

Coeficiente de segurança à cedência	1,12
Tensão de Von Mises máxima	29,46 MPa
Deformada na extremidade (y)	2,13 mm
Volume	7399 mm ³
Massa	6,66 × 10 ⁻³ Kg
Custo MP × (2,4 × 10 ⁶ molas)	18238 €

Tabela A46 - Geometria (2) / Material HMU 210 (b)

Coeficiente de segurança à cedência	1,16
Tensão de Von Mises máxima	29,18 MPa
Deformada na extremidade (y)	1,13 mm
Volume	7399 mm ³
Massa	7,69 × 10 ⁻³ Kg
Custo MP × (2,4 × 10 ⁶ molas)	27850 €

Tabela A47 - Geometria (2) / Material ML 4340 (c)

Coeficiente de segurança à cedência	1,13
Tensão de Von Mises máxima	29,18 MPa
Deformada na extremidade (y)	1,15 mm
Volume	7399 mm ³
Massa	7,55 × 10 ⁻³ Kg
Custo MP × (2,4 × 10 ⁶ molas)	26292 €

Anexo 5 – Análise estática em Elementos Finitos dos Fixadores

No presente anexo, pretende apresentar o procedimento na análise de elementos finitos dos fixadores no programa Cosmosworks. Divide-se em duas secções, uma vez que os procedimentos diferem conforme se analise a geometria circular (I) ou rectangular (II e III). No entanto, os elementos usados nos dois procedimentos são os mesmos dos usados para os corpos de mola (anexo 1). Por outro lado uma característica comum a todos os fixadores, prende-se com o modelo de material, apresentado de seguida.

Modelo de material

O modelo de material adoptado, para este estudo consistiu no modelo hiperelástico Odgen com 3 constantes [34], cuja função densidade de energia está definida na equação A50, devido ao comportamento não linear do Silicone VMQ 40 [29].

$$W = \sum_{k=1}^N \mu_k \left(\frac{\lambda_1^{\alpha_k} + \lambda_2^{\alpha_k} + \lambda_3^{\alpha_k} - 3}{\alpha_k} \right)$$

Equação A50

Com,

N = número de constantes; λ_i = alongamento; μ_k e α_k = constantes de material

Para este modelo foi demonstrado que para os níveis de alongamento do fixador (200%), é uma boa aproximação o uso deste modelo quando apenas se tem dados correspondentes à curva de tracção uniaxial e se pretende analisar uma situação de tracção equibiaxial [18]. Deste modo, a curva que representativa do ensaio de tracção uniaxial, do material usado está apresentada na figura A50 [36], com tensão de rotura = 10,9 MPa.

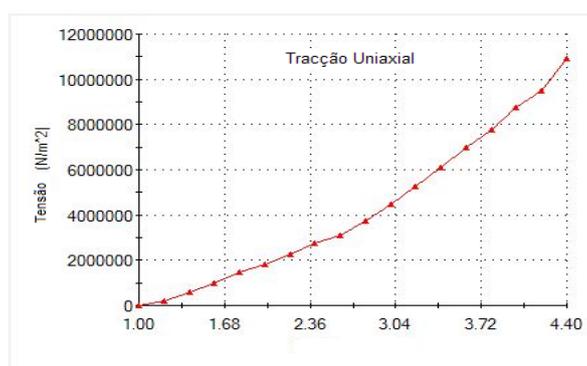


Figura A50 – Ensaio de tracção uniaxial do Silicone VMQ 40

1 - Fixador circular

Este fixador tem a particularidade, de ter sido necessário para simular o seu alongamento correspondente à abertura máxima da mola (condição mais desfavorável), colocar-se no seu interior uma geometria rectangular, com dimensões proporcionais à dimensão da zona de apoio do fixador, que com um deslocamento aplicado simula a abertura máxima da mola (fig.A51). Desta forma foi necessário organizar os dados obtidos a partir dos milhares de nós da malha, através do Software Microsoft Office Excel conforme apresentado na secção de resultados do presente anexo.

Malha

A malha usada na geometria adoptada para simular a abertura da mola, está apresentada na figura A51, onde não foram usados refinamentos devido à simplicidade geométrica:

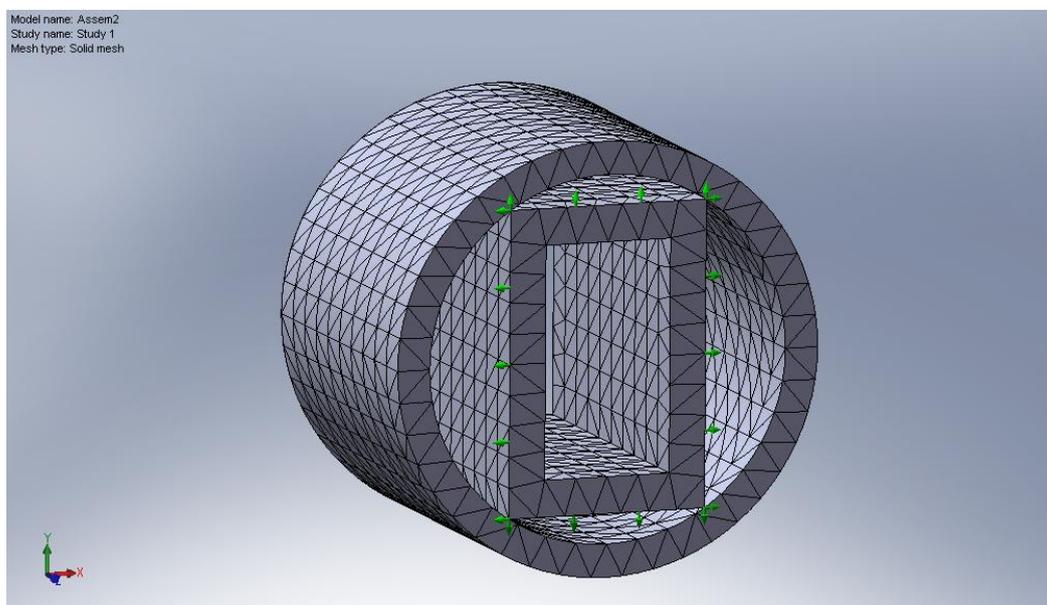


Figura A51 – Malha de fixador circular

Condições fronteira

As condições fronteira, resumem-se ao deslocamento imposto na geometria rectangular (interior do fixador), de igual valor mas simétrico em faces paralelas, de modo a simular a abertura máxima do fixador. Assim o deslocamento imposto ao fixador, é calculado subtraindo a dimensão inicial existente na geometria rectangular à dimensão da zona de apoio do fixador (dimensão exterior da zona central da mola para roupa).

Resultados

Os resultados que interessam ao estudo consistem na tensão máxima de Von Mises, nas tensões normais correspondentes às faces superiores e inferiores de apoio do fixador, bem como nas tensões normais correspondentes às faces laterais de apoio do fixador.

Desta forma foram localizados as coordenadas dos pontos que limitam as faces de interesse (correspondentes ao pontos de contacto inicial entre o fixador e a geometria auxiliar – fig.A50), que após a listagem completa das tensões nos elementos em função das suas coordenadas (x,y,z), foram seleccionados através de tabelas lógicas em Excel os elementos correspondente a essas faces (fig.A52 e A53).

Posteriormente foi calculada a média das tensões normais nas faces, para determinação aproximada da pressão normal exercida na face de interesse (superior, inferior ou lateral).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	silicone_tab1		esp=0.9		rext=6,rint=5	mola sem redução no centro		
2				tensao vm=9.61MPa	Face superior	Face inferior		
3	X (mm)	Y (mm)	SY (N/m ²)		Column1	Column2		
4	-91.3861	10.4021	1.07E-01		0	0		
5	-91.3861	18.7537	1.00E-01		0.0999676	0		
6	-91.3861	18.3361	8.87E-02		0	0		
7	-91.3861	10.8196	7.52E-02		0	0		
8	-91.3861	10.4021	7.05E-02		0	0		
9	-91.3861	10.4021	6.87E-02		0	0		
10	-91.3861	10.8196	6.74E-02		0	0		
11	-91.3861	18.7537	6.62E-02		0.0662391	0		
12	-91.3861	10.4021	6.28E-02		0	0		
13	-91.3861	18.7537	6.26E-02		0.0626292	0		

Figura A52 – Topo da tabela para determinação da pressão do fixador circular na face superior e inferior do corpo da mola

6885	-85.8861	11.33	1.02E-02		0	0		
6886	-85.8861	11.2836	1.01E-02		0	0		
6887	-85.8861	10.4021	1.00E-02		0	0		
6888	-85.8861	18.2897	6.46E-03		0	0		
6889	-85.8861	11.33	6.05E-03		0	0		
6890	-85.8861	10.8196	5.31E-03		0	0		
6891	-85.8861	17.9185	3.82E-03		0	0		
6892	-85.8861	17.8721	6.44E-04		0	0		
6893	-85.8861	11.33	-1.46E-03		0	0		
6894	-85.8861	10.8196	-1.76E-02		0	0		
6895	-85.8861	17.501	-2.66E-02		0	0		
6896				Pressão média =	-33995.7609	-357954.48		

Figura A53 – Fim da tabela para determinação da pressão do fixador circular na face superior e inferior do corpo da mola

2 - Fixadores rectangulares

No procedimento seguido em elementos finitos para o fixador rectangular, foi possível usar apenas o software de elementos finitos Cosmosworks para a obtenção dos resultados, não sendo necessário o uso de uma geometria auxiliar para simular a abertura máxima da mola. O procedimento foca apenas o fixador rectangular normal (II), uma vez que o procedimento para fixador rectangular estreito (III) é efectuado do mesmo modo.

Malha

A malha para este fixador não possui refinamento, devido à simplicidade geométrica, estando esta apresentada na figura A-54:

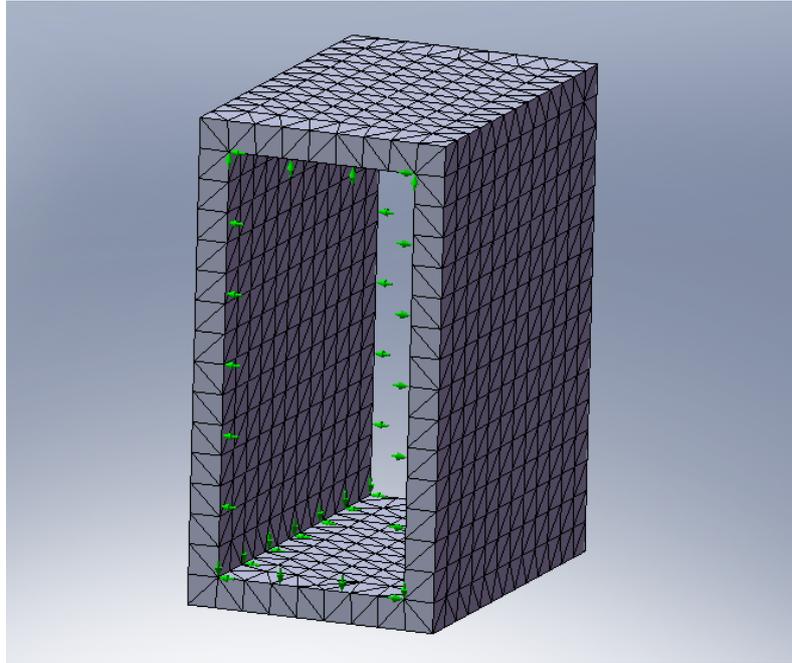


Figura A54 – Malha do fixador rectangular II

Condições fronteira

As condições fronteira, resumem-se ao deslocamento imposto às faces internas da geometria, de igual valor e sentidos opostos em faces paralelas. O seu valor é calculado subtraindo a dimensão inicial existente na geometria rectangular à dimensão da zona de apoio do fixador (dimensão exterior da zona central da mola para roupa).

Resultados

Os resultados respeitantes às tensões normais exercidas nas faces de interesse (superior, inferior e laterais), foram obtidos directamente das faces do fixador através do Cosmosworks, que permite apresentar a média das tensões na face.

Na figura A55 apresenta-se como exemplo o gráfico relativo à tensão de Von Mises, onde é possível também verificar o elevado alongamento do material.

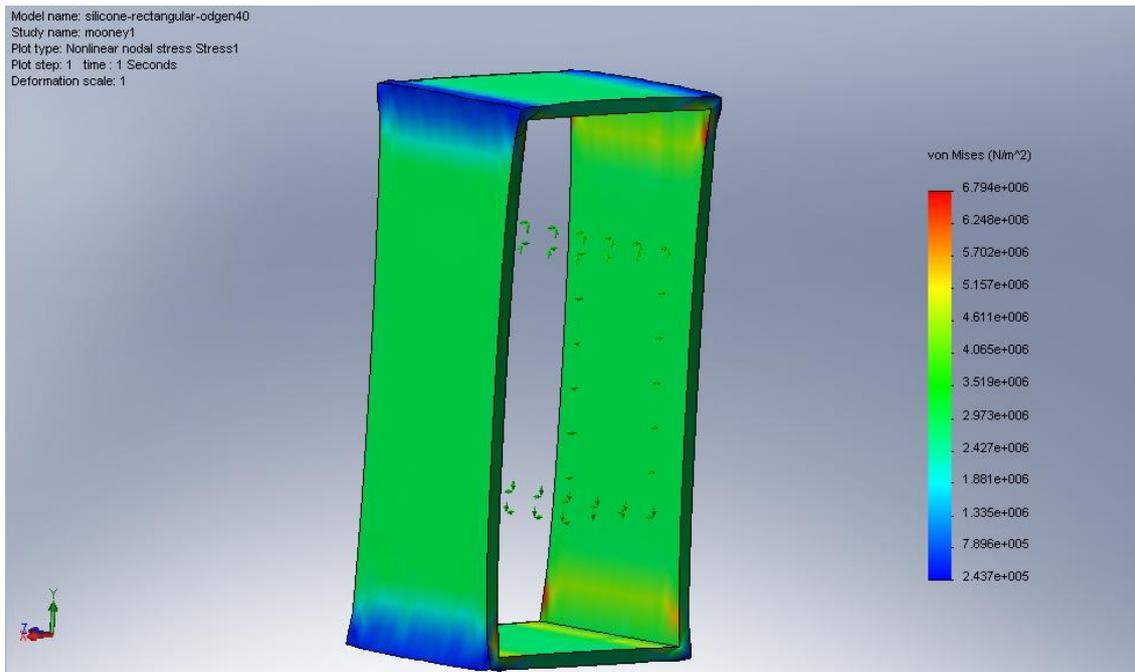


Figura A55 – Tensão de Von Mises no fixador rectangular II

Anexo 6 – Gráficos e Tabelas da Análise Comparativa de Modelos Finais

Gráficos do Valor em função do volume de produção

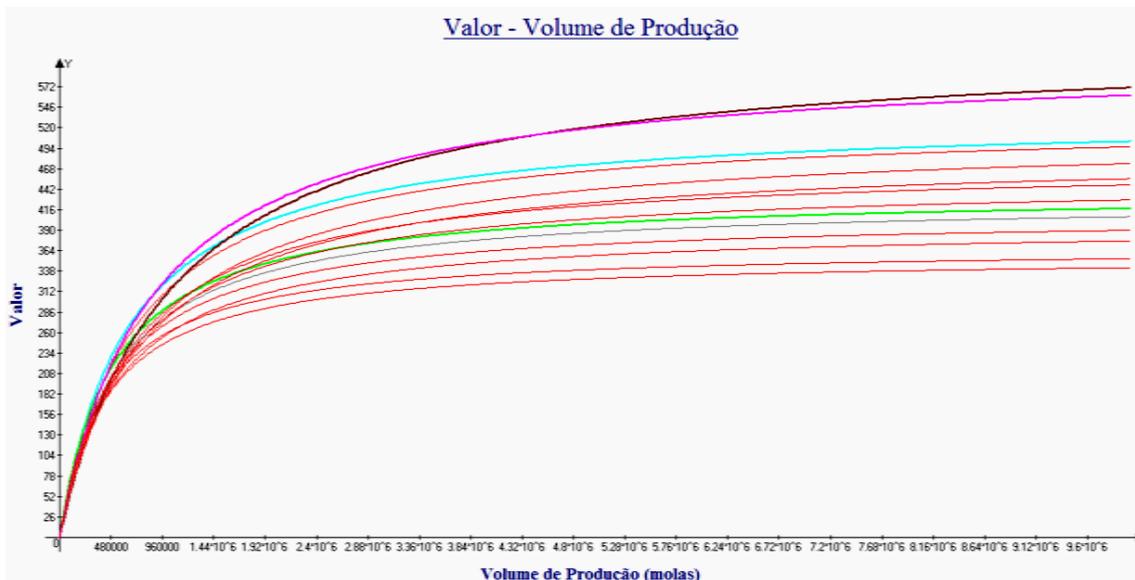


Figura A60 – Gráfico com do valor de todos os modelos finais em função do volume de produção.

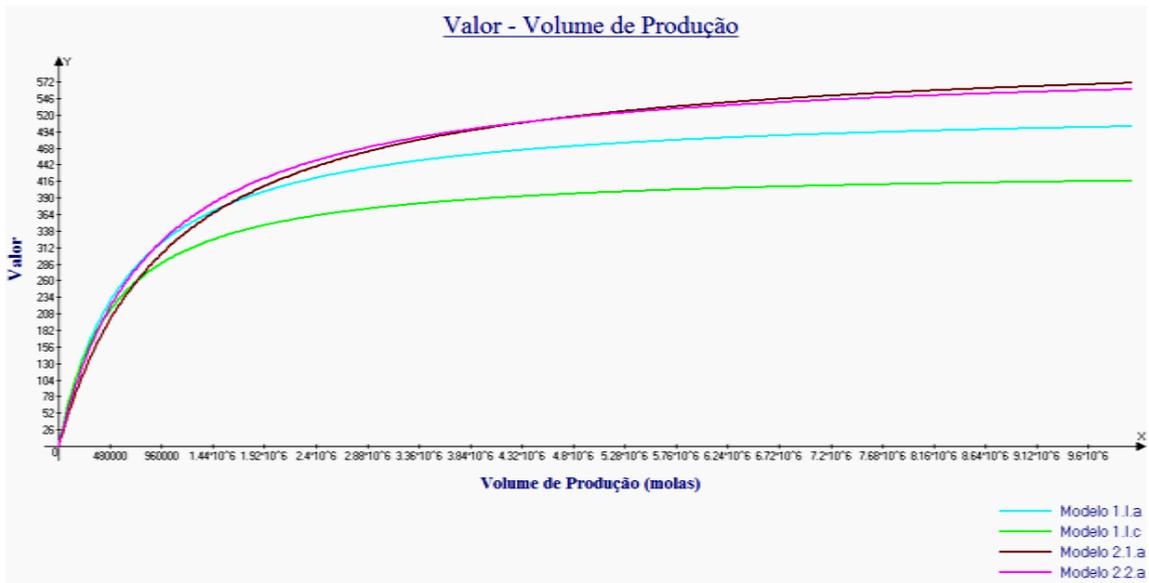


Figura A61 – Gráfico dos modelos com maior valor em função do volume de produção

Gráfico do Custo Total Marginal em função do volume de produção

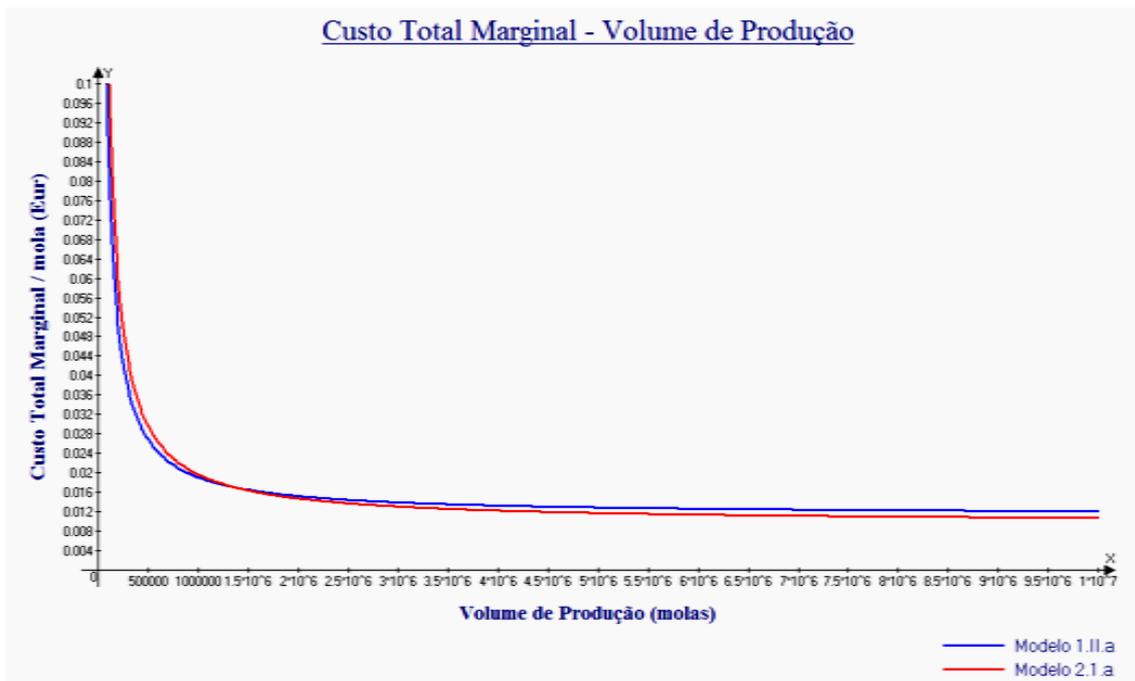


Figura A62 – Gráfico dos modelo com menor custo total marginal em função do volume de produção

Tabela comparativa dos modelos com maior Valor e menor custo com o modelo actual

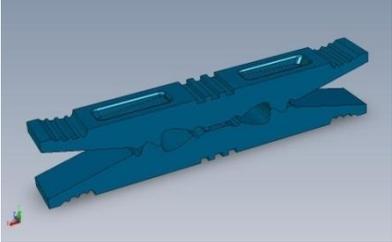
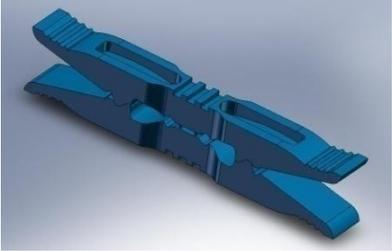
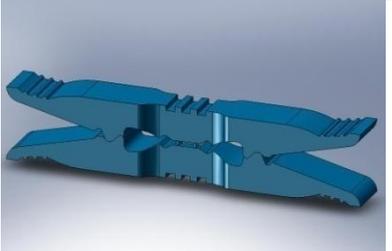
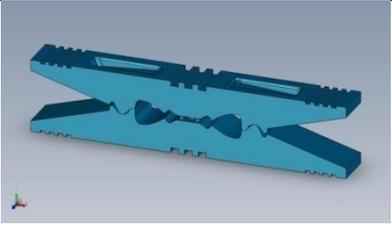
Modelo	Geometria	Volume de Produção (critério valor)	Volume de Produção (critério custo)	Qualidade Total
1.I.a		[146.260→935.412]	-	6,49
1.I.c		[0→146.260]	-	6,84
1.II.a		-	[0→1.637.897]	5,96
2.1.a		[3.955.182→...[[1.637.897→...[6,08
2.2.a		[935.412→3.955.182]	-	6,43
Actual		-	-	6,83

Tabela A60 – Tabela comparativa dos modelos com maior valor e menor custo com o modelo actual

Anexo 7 – Geração do Conceito Funcional

Para introdução ao sistema de montagem de uma máquina para assemblagem de um produto, em ambiente industrial, após as especificações estarem estabelecidas, dá-se lugar à geração do conceito a nível funcional, ou seja um conceito que valide as funções estabelecidas nas especificações.

1 – Metodologia

A metodologia seguida neste capítulo de introdução ao sistema de montagem, é apresentada na figura A70, mostrando as etapas adoptadas.

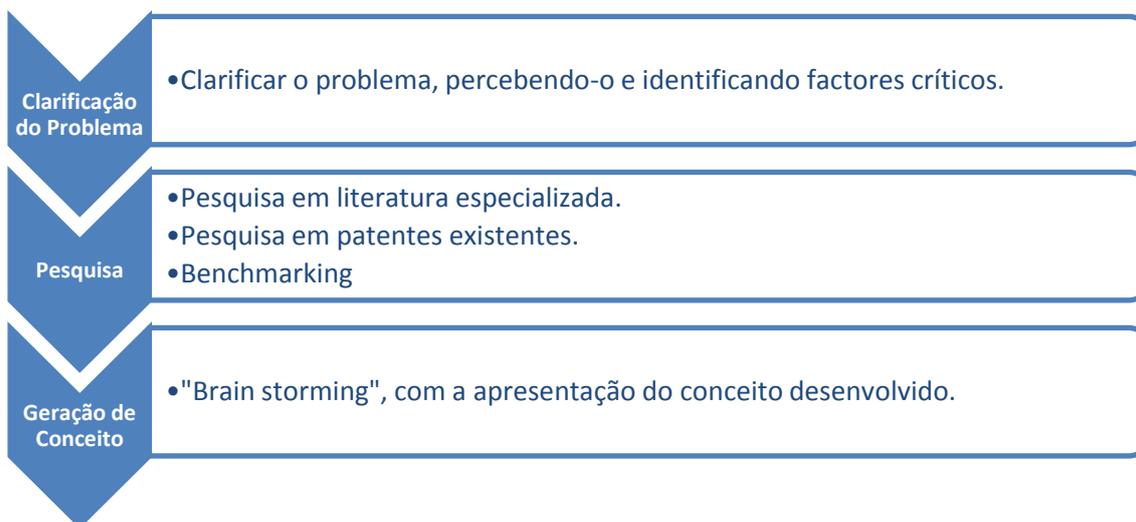


Figura A70 – Metodologia da geração do conceito funcional do sistema de montagem

2 – Clarificação e Decomposição do Problema

O desafio colocado prende-se com o sistema que permita a abertura do fixador, para posterior montagem no corpo da mola. Todos os outros subsistemas que constituem o sistema de montagem, são de utilização corrente, em sistemas de assemblagem industrial [37], nomeadamente movimentação (subsistemas pneumáticos/hidráulicos) e posicionamento de componentes (sensores).

Deste modo, para clarificar e decompor o problema em causa, elabora-se um diagrama geral do sistema de montagem (fig.A71), com o fluxo de energia, material e sinais, decompondo-o em seguida em subfunções [18]:

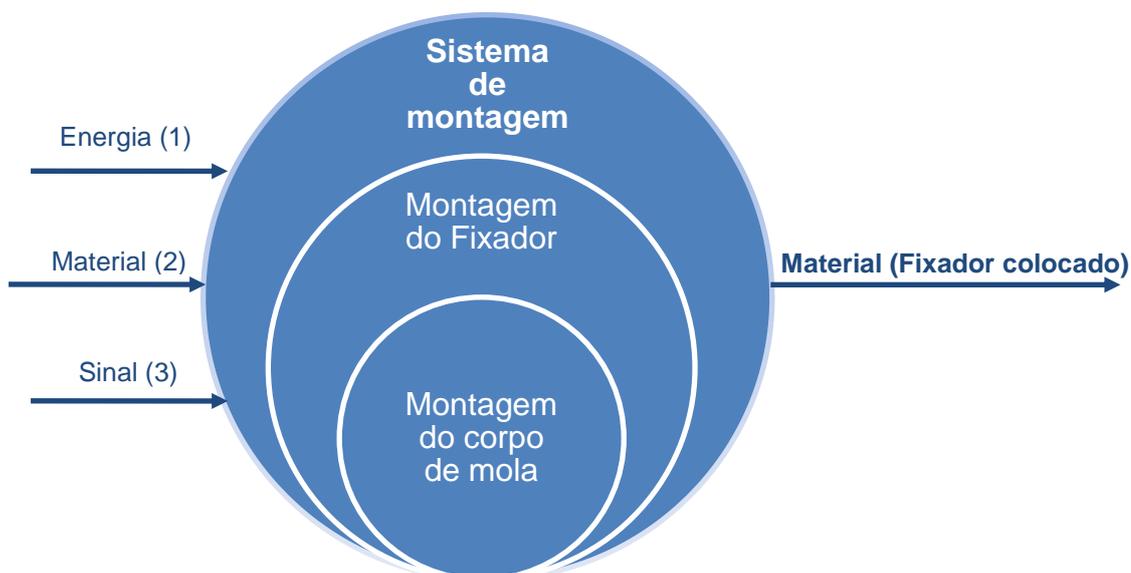


Figura A71 – Diagrama do fluxo de energia, material e sinal do sistema de montagem

O diagrama da figura A72 das subfunções, servirá como uma boa base, para a execução de um diagrama Grafcet [37] (diagrama funcional), no trabalho futuro, isto é após o conhecimento de todos os componentes do sistema da máquina a desenvolver, para a obtenção de um sistema automatizado:

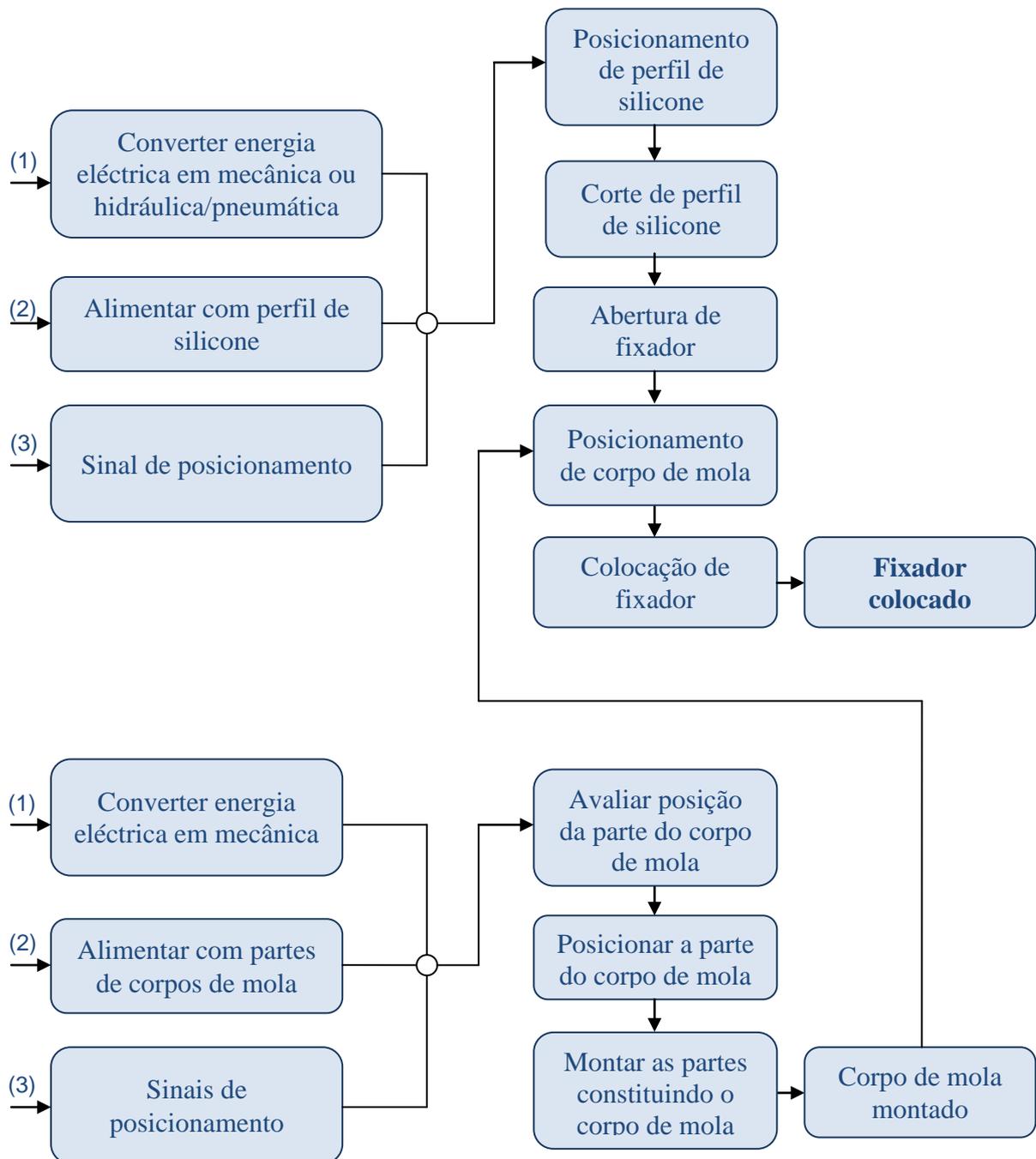


Figura A72 – Diagrama das subfunções do sistema de montagem

A pesquisa serve não só para gerar ideias a partir das já existentes, como também para diminuir o tempo na descoberta de soluções [17]. Desse modo, foi consultada literatura da especialidade, bem como o registo de patentes, para facilitar a geração de ideias/conceitos.

Começando pelo **registo de patentes e benchmarking**, não foi possível encontrar nenhum sistema de montagem que permita a assemblagem de molas para roupa com fixador elastomérico em banda, no mercado e nos seguintes endereços:

Propriedade Industrial	http://www.inpi.pt
Base de dados de patente Europeia	http://ep.espacenet.com
Base de dados de patentes nos Estados Unidos da América	http://www.google.com/patents

Quanto à **literatura da especialidade**, esta está referenciada ao longo do texto deste capítulo quando utilizada.

4 – Conceito

Como referenciado no subcapítulo 6.2.2, a preocupação inicial no conceito do sistema de montagem, prende-se com o dispositivo que permita a abertura do fixador para montagem sobre o corpo da mola (fig.A63/4). Após várias ideias (“brainstorming”) geradas, aquela que validou o cumprimento das funções gerais, especificadas no capítulo 6.1, está apresentada de seguida:

Estrutura

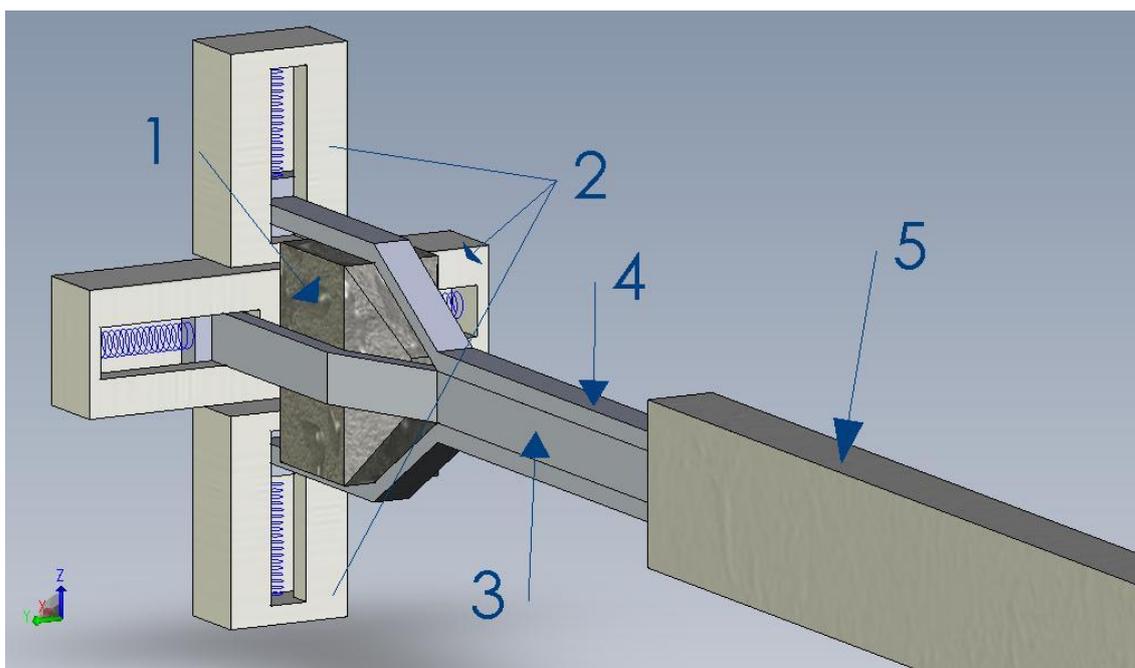


Figura A63 – Estrutura do dispositivo de abertura do fixador

Legenda da figura A63:

- 1 – Actuador.
- 2 – Calhas com mola, para retorno à posição inicial, bem como de sustentação do peso da haste vertical inferior.
- 3 - Haste lateral.
- 4 – Haste Superior.
- 5 – Perfil de Silicone (antes de ser cortado).

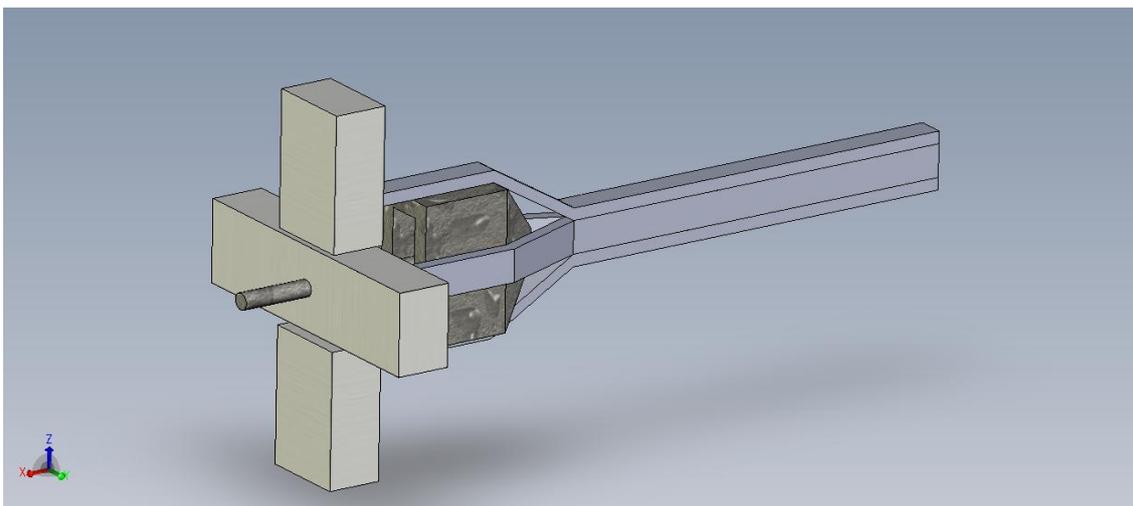


Figura A64 – Dispositivo de abertura do fixador

Funcionamento

Para permitir o corte do perfil de silicone, o posicionamento do perfil sobre as hastes (fig.A64), vai permitir o apoio deste aquando do corte através de uma lâmina vertical. Depois de cortado está-se perante o fixador, pronto a ser aberto pelas hastes. O dispositivo da figura deslocar-se-á lateralmente para uma posição onde possa “receber” o corpo de mola. O actuador ao ser accionado, vai permitir com o seu avanço, o deslocamento das hastes de forma a abrir na quantidade certa (dependendo do declive das hastes). Depois deste estar aberto, posiciona-se o corpo de mola montado, no interior das hastes (estas estão abertas mais 1mm para além da dimensão exterior da mola). A colocação do fixador faz-se com bloqueadores verticais (cuja superfície de contacto com o silicone gere um coeficiente de atrito superior ao da superfície haste/silicone [19]) de modo a pressionar o fixador contra as hastes, que com o recuo do dispositivo da figura, vai permitir a saída das hastes e a colocação do fixador sobre o corpo de mola.

Para os fixadores seleccionados no capítulo 5 (em função de volumes de produção), a partir da produção mínima de 2.400.000 molas num ano, ou seja para o fixador III, foi testado o nível de abertura com este dispositivo, sem que o mesmo excedesse a tensão limite de rotura, obtendo-se um coeficiente de segurança de 1,16 ($10,9 / 9,37 = 1,16$).

A figura A65 apresenta o gráfico da tensão máxima de Von Mises, com os deslocamentos impostos pelas hastes do dispositivo de abertura, suficientes para o

posicionamento do corpo de mola no seu interior (tendo em conta 1,5mm de espessura das hastes):

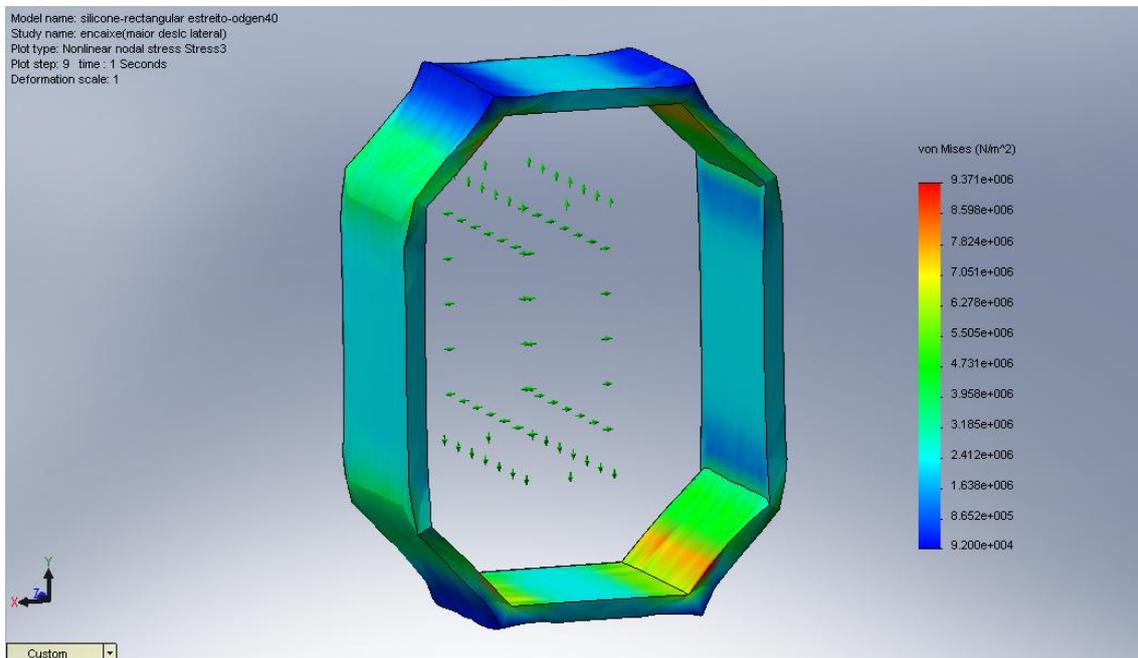


Figura A65 – Gráfico de distribuição de tensões de Von Mises do fixador III, para dispositivo de abertura do sistema de montagem