



universidade
de aveiro

Departamento de Engenharia Mecânica

Curso 9289 – Mestrado de Engenharia Mecânica (2º Ciclo)

Disciplina 47313 – Projeto de Desenvolvimento de Produto

Ano Letivo 2022/2023

Projeto de Desenvolvimento de Produto Relatório Final

Equipa JTJD

Grupo 2, Turma P4

João Marques – 98246

Tiago Babo – 98084

João Valinho – 88775

Diogo Gil – 98285

Resumo

Neste projeto pretende-se apresentar uma proposta de solução viável a cumprir os requisitos relativos à temática definida, consoante a elevação de vertical de motas e sua manutenção. A fim de dar resposta ao problema identificado, consoante conjugar a utilização de elevadores de motas e cavaletes manuais numa mesma instância, o qual se aferiu ser pouco cómodo e possivelmente inseguro, foi então concebido e projetado um elevador de motas com cavaletes rebatíveis na base de trabalho.

Este produto por sua vez, procura responder às necessidades de cliente identificadas, onde foi desenvolvido de modo a ser capaz de elevar ambas as rodas da mota, recorrendo à ação de atuadores elétricos nos cavaletes de quadro e de apoio de escora, de ser ajustável e versátil de modo ser adaptável à grande maioria de modelos de motas presentes no mercado, e de assegurar um funcionamento seguro e confortável ao utilizador.

Foram realizados estudos de simulações e possíveis otimizações na maioria dos componentes críticos identificados do sistema, de modo a garantir a funcionalidade e projeção pretendida do produto e seus sistemas inerentes. A fim de viabilizar a produção e comercialização do produto relativo à concorrência presente, procurou-se conjugar o maior número de componentes normalizados e a utilização de materiais acessíveis e de boa qualidade, mantendo uma forma de produto simples, intuitiva e funcional. Concluiu-se que este é um produto que pode vir a competir com a concorrência e que pode ser inserido no mercado, sendo que este é muito amplo, apto a ser explorado e tende de vir a crescer ao longo dos anos.

Índice	
I. Índice de figuras.....	6
II. Índice de tabelas.....	8
III. Abreviaturas	8
1. Introdução	9
2. Definição do tema	9
2.1. Identificação do problema.....	9
2.2. Estudo de mercado.....	10
2.3. Caracterização do consumidor	11
2.4. Análise SWOT.....	11
2.5. Concretização da ideia inicial	12
3. Definição dos requisitos de cliente	12
4. Elaboração de matriz de qualidade/produto	13
4.1. Matriz de Qualidade - QFD	13
4.2. Matriz de produto	14
5. Análise conceptual	15
5.1. Exploração conceptual	15
5.2. Seleção de conceitos	16
5.3. CAD volumétrico	18
5.4. FMEA de conceito.....	18
6. Análise funcional	18
6.1. Diagrama de componentes e funções	19
6.2. FMEA de produto.....	20
7. Dimensionamento dos atuadores.....	21
7.1. Decomposição e cálculo de forças.....	21
7.2. Seleção de equipamento.....	22
8. CAD 1.0	22

8.1. Considerações de fabrico iniciais.....	23
9. Simulações e otimizações	23
9.1. Seleção de componentes críticos	24
9.2. Estratégia e metodologia de simulação	24
9.3 Suporte Inferior de Atuador	24
9.3.1 Simulação.....	24
9.3.2 Otimização	26
9.4 Braços do Elevador	27
9.4.1 Simulação.....	27
9.5 Suporte Superior de Atuador	28
9.5.1 Simulação.....	28
9.5.2 Otimização	29
9.6 Base do Chão do elevador	30
9.6.1 Simulação.....	30
9.7 Ajustadores de Cavaletes	30
9.7.1 Simulação.....	30
9.8 Garra de Escora	31
9.8.1 Simulação.....	31
9.9 Veios	32
9.9.1 Simulação.....	32
9.10 Tabela resumo, resultados das simulações	33
9.11 Considerações de fabrico finais	34
10 Modelo de negócio	34
11. Análise ciclo de vida	35
11.1 Análise de principais matérias-primas	35
11.2. Análise do período de vida útil	35

11.3. Projeção de mercado	36
12. CAD 2.0	37
13. Conclusões e Propostas de melhoria	37
14. Bibliografia.....	39
ANEXO A – MODELO DE KANO	40
ANEXO B – MATRIZ QUALIDADE E PRODUTO	41
ANEXO C – ANÁLISE CONCEPTUAL E FUNCIONAL	45
ANEXO D - DIMENSIONAMENTO DOS ATUADORES.....	50
ANEXO E – CAD 1.0	53
ANEXO F – SIMULAÇÕES E OTIMIZAÇÕES.....	54
ANEXO G – MODELO DE NEGÓCIOS	60

I. Índice de figuras

Figura 1 - Projeção de mercado.....	10
Figura 2 - Análise SWOT.....	12
Figura 3 - Modelo de Kano.	13
Figura 4 - Diagrama de componentes inicial.....	15
Figura 5 - Conceito AC, final selecionado.	17
Figura 6 - Diagrama de componentes revisto.....	19
Figura 7 - Diagrama de funções.	19
Figura 8 - CAD funcional, modelo 1.0.....	23
Figura 9 - Versão 1 do Suporte Inferior de Atuador.	25
Figura 10 - Suporte Inferior de Atuador.....	26
Figura 11 - Suporte inferior do atuador otimizado.....	27
Figura 12 - Braços do Elevador, Condições de Fronteira e Malha.	27
Figura 13 - Versão 1 do Suporte Superior de Atuador.....	28
Figura 14 - Suporte Superior de Atuador.	29
Figura 15 - Suporte superior do atuador otimizado.....	29
Figura 16 - Base do chão de elevador e estrutura inferior.....	30
Figura 17 - Ajustadores de Cavaletes.....	31
Figura 18 - Garra de Escora.	32
Figura 19 - Considerações de fronteira e malha para as simulações.....	33
Figura 20 - Esboço de vendas e lucros do produto em função do tempo.....	37
Figura 21 - Renderização do produto final, modelo CAD 2.0.	37
Figura 22 - Mindmap - conceitos iniciais.....	45
Figura 23 - Conceitos inicialmente propostos.....	45
Figura 24 - Mindmap – conceitos finais selecionados.	46
Figura 25 - CAD volumétrico.	46
Figura 26 - Correlação entre diagrama de componentes e diagrama de funções.	48
Figura 27 - Posições de elevação e dimensões do elevador.	50
Figura 28 - Decomposição de forças – atuador de elevador.	51
Figura 29 - Decomposição de forças – atuador de quadro.	51
Figura 30 - Decomposição de forças – atuador de apoio de escora.	52
Figura 31 - Condições de fronteira e malha da simulação 1.	54

Figura 32 - Condições de Fronteira e Malha para o Componente 1.....	55
Figura 33 - Resultados da simulação 1, à esquerda deslocamentos e à direita tensões equivalentes de von Mises.....	55
Figura 34 - Resultados da otimização topológica do Suporte Inferior do Atuador.....	55
Figura 35 - Resultados da simulação dos Braços do Elevador.....	56
Figura 36 - Condições de fronteira e malha da simulação 3.	56
Figura 37 - Condições de Fronteira e Malha para o Componente 3.....	56
Figura 38 - Resultados da simulação 3, à esquerda deslocamentos e à direita tensões equivalentes de von Mises.....	56
Figura 39 - Resultados da otimização topológica do Suporte Superior do Atuador.	57
Figura 40 - Condições de fronteira e malha para a simulação 4.	57
Figura 41 - Resultados da simulação 4, à esquerda deslocamentos e à direita tensões equivalentes de von Mises.....	57
Figura 42 - Condições de fronteira e malha para a simulação5.	57
Figura 43 - Resultados da simulação 5, à esquerda deslocamentos e à direita tensões equivalentes de von Mises.....	58
Figura 44 - Condições de fronteira e malha da simulação 6.	58
Figura 45 - Resultados da simulação 6, à esquerda deslocamentos e à direita tensões equivalentes de von Mises.....	58
Figura 46 - Modelo de negócio de projeto.	60

II. Índice de tabelas

Tabela 1 - Especificações técnicas.	14
Tabela 2 - Análise de conceitos, pontuação inicial.....	16
Tabela 3 - Seleção final de conceitos.	17
Tabela 4 - Resultados do cálculo das reações dos atuadores.....	22
Tabela 5 - Resultados das simulações relativamente aos componentes 7,8 e 9.	33
Tabela 6 - Tabela resumo dos resultados das simulações.....	33
Tabela 7 - Listagem de funcionalidades e perguntas dos formulários.	40
Tabela 8 - Resultados globais dos formulários.....	40
Tabela 9 - Matriz de qualidade.	41
Tabela 10 - Matriz de produto.	43
Tabela 11 - FMEA de conceito.....	47
Tabela 12 - FMEA de produto.....	49
Tabela 13 - Resumo dimensões de elevador.....	50
Tabela 14 - Dimensionamento e características dos atuadores.	52
Tabela 15 - Considerações de fabrico iniciais.	53
Tabela 16 – Síntese de componentes a simular.	54
Tabela 17 - Considerações de fabrico finais.....	59

III. Abreviaturas

ACAP – Associação automóvel de Portugal

FMEA – Failure Mod and Effects Analysis

CAD – Computer-Aided Design

RPN – Reverse Polish Notation

QFD – Quality Function Deployment

SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

1. Introdução

Este projeto assenta na projeção e desenvolvimento de um produto que cumpra os requisitos e especificações obrigatórias definidas para os trabalhos práticos da UC de Projeto de Desenvolvimento de Produto e que respeite a temática geral para o ano letivo de 2022/23, definida como o transporte vertical.

A evolução do produto acompanhou o planeamento proposto para as aulas práticas da UC ao longo do semestre, sendo dividido em objetivos semanais agrupados em três *milestones* principais, as quais, em geral, são consideradas as datas de entrega das apresentações em vídeo referentes ao desenvolvimento do projeto.

Deste modo, foi possível estabelecer-se prazos claros e concretos de entregáveis a desenvolver e a apresentar a cada semana, assegurando um trabalho contínuo, seccionado e organizado. A primeira *milestone* partiu da identificação do problema principal especificado para o projeto e sua exploração até à geração conceptual e obtenção da primeira versão do CAD do produto, na forma de CAD volumétrico. A segunda *milestone* segue o trabalho já realizado, onde se iniciou pela realização do FMEA de conceito, FMEA de produto e dimensionamento dos componentes técnicos presentes no sistema até à obtenção da segunda versão do CAD na sua forma funcional ou CAD 1.0. Finalmente, a terceira *milestone* partiu pela identificação e simulação dos componentes críticos do produto onde se averiguou se estes asseguravam as condições mínimas de funcionamento especificadas após serem definidas as considerações de fabrico iniciais, estratégias, metodologias e condições de simulação associadas. Terminou-se assim no estudo de possíveis otimizações a aplicar no produto desenvolvido e na análise final do seu ciclo de vida, pretendendo chegar-se à versão final do CAD, sob o modelo 2.0.

2. Definição do tema

A primeira fase de desenvolvimento do projeto requer fazer a definição da temática do produto visado, a qual por sua vez está diretamente associada pela identificação do problema encontrado e pela realização de uma análise de mercado.

2.1. Identificação do problema

Considerando as restrições obrigatórias associadas ao projeto e a temática de elevação vertical foi realizado um *brainstorming* inicial de várias ideias que satisfizessem este enquadramento. Após um estudo inicial, verificou-se que existe um problema funcional

no que toca a conjugar a utilização de elevadores de motas e cavaletes manuais numa mesma instância, a fim de se poder realizar intervenções de manutenção nas mesmas em segurança e com facilidade. Deste modo considerou-se que este seria um problema interessante de ser explorado em detalhe a fim de se criar um possível produto que remediasse e facilitasse esta realidade, daí ter sido escolhido como o problema inicial do projeto.

2.2. Estudo de mercado

Sendo identificado o problema principal do projeto, procedeu-se depois ao estudo detalhado de mercado associado à venda de motas em Portugal bem como dados estatísticos relativos à manutenção anual exercida sobre as mesmas. Conjuguou-se ainda a análise do mercado de venda de elevadores de motas e cavaletes.

A análise de mercado de motas foi feita com base nos dados estatísticos disponibilizados pela ACAP [1] onde tem presente as unidades de motas vendidas por ano desde o ano 2010 até 2021 em Portugal. Com estes dados, foi possível traçar-se uma projeção de mercado como apresentado na figura seguinte.

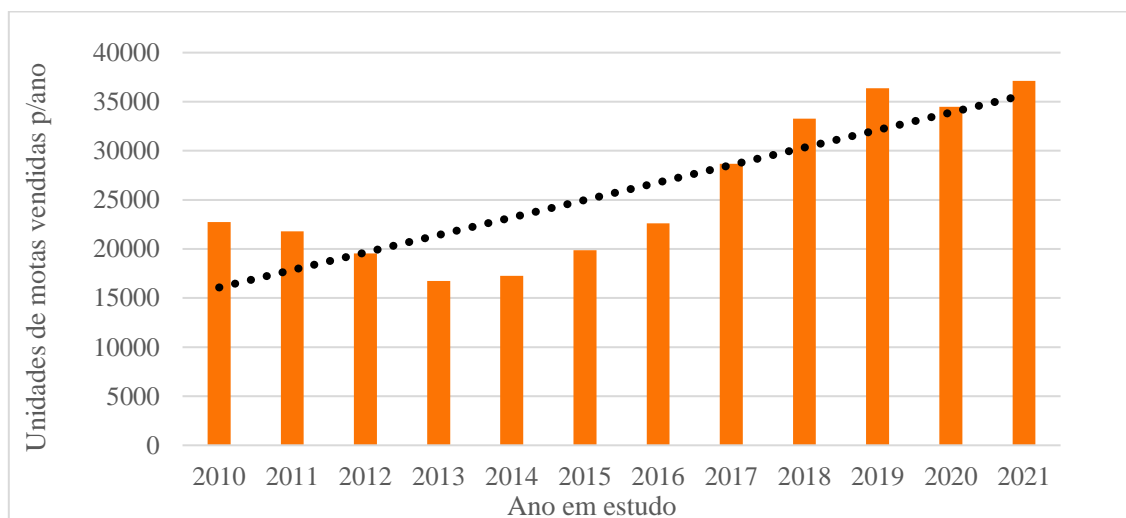


Figura 1 - Projeção de mercado.

Observou-se que a tendência de mercado em estudo pode ser considerada positiva, sendo possível concluir-se que desde o ano inicial em estudo tem vindo a ser um mercado apreciado pelos consumidores e economicamente crescente. Com a projeção obtida a partir da relação presente na **Figura 1**, fez-se a previsão de unidades vendidas em 2030, obtendo-se um total superior a 50 mil. Foi feita ainda uma avaliação inicial económica

deste mercado onde, considerando um preço médio de 6000 € e as unidades de motas vendidas no ano de 2021 verifica-se que o mercado é avaliado em cerca de 222,76 milhões €. Com esta avaliação, conclui-se que o valor de mercado associado ao problema identificado é muito elevado e apto a ser explorado a fins de se desenvolver um produto economicamente viável para o mercado público.

Finalmente, fez-se ainda o estudo do mercado de venda de elevadores de motas e cavaletes a fim de se obter uma ideia relativa do custo associado a estes produtos e ao produto visado a ser desenvolvido com este projeto. Verificou-se no mercado que o preço de elevadores de motas varia entre 450 e 4500 €, já o preço de cavaletes por sua vez variando entre 35 e 300 €. Isto demonstra que existe uma grande variedade deste tipo de produtos no mercado e que o intervalo de preços é muito amplo. Deste modo, conclui-se que existe margem a fim de se desenvolver um produto dentro desta área.

2.3. Caracterização do consumidor

Consoante o estudo de mercado já realizado, seguiu-se pela caracterização do consumidor alvo associado ao produto visado do projeto. Dividiu-se o grupo de consumidores alvo em dois, entre oficinas, por sua vez divididas entre oficinas de competição e de garagem, e garagens pessoais, associadas a aficionados por motas. Previu-se que a influência mais relevante de mercado tenderá para as oficinas dado que estas representam, provavelmente, a maior instância de consumidores alvo possivelmente aptos a adquirirem o produto idealizado.

2.4. Análise SWOT

A fim de se planear concretamente as fases futuras de desenvolvimento do projeto foi necessário fazer-se uma análise estrutural inicial do cenário competitivo associado ao produto visado, a qual é possibilitada pelo modelo de uma análise SWOT, servindo como ferramenta para uma melhor tomada de decisões de projeto. Esta análise é dividida consoante diferentes parametrizações principais, as quais são avaliadas entre *Strengths* (forças), *Weaknesses* (fraquezas), *Opportunities* (oportunidades) e *Threats* (ameaças). A fim de se observar o esquema da análise aplicada ao projeto, observe-se a seguinte figura.



Figura 2 - Análise SWOT.

2.5. Concretização da ideia inicial

Após o estudo detalhado da ideia inicial proposta e sua avaliação consoante um estudo de mercado e análise SWOT, considerou-se que o produto concretizado englobaria o desenvolvimento de uma solução que integrasse o uso de um elevador de motas com cavaletes embutidos, eliminando a necessidade de se comprar estes produtos em separado e ser possível realizar operações de manutenção nas motas em segurança e conforto.

3. Definição dos requisitos de cliente

Após a definição do tema de projeto e concretização da ideia inicial projetada, seguiu-se pelo estudo detalhado dos requisitos de cliente associados, permitindo saber a reação dos mesmos face a possíveis funcionalidades idealizadas e determinar as verdadeiras necessidades de mercado.

Deste modo, procedeu-se à listagem de várias possíveis funcionalidades características do produto e a realização e distribuição de formulários direcionados a elementos identificados dentro do grupo do consumidor alvo definido.

Estes, possibilitam a recolha de dados relativa à reação dos consumidores face às funcionalidades definidas numa escala de satisfação de 1 a 5, os quais são necessários à elaboração do modelo de Kano. Note-se ainda que os resultados obtidos deste, bem como as funcionalidades especificadas, estão presentes na **Tabela 7** e **Tabela 8** no ANEXO A.

Com os resultados obtidos dos formulários, foi possível fazer uma correspondência consoante a escala e regras definidas para o modelo de Kano e daí, consequentemente, avaliar os mesmos conforme uma escala de funcionalidade e disfuncionalidade. Seguiu-se depois por traçar a curva característica do modelo em estudo, a qual está presente seguidamente.

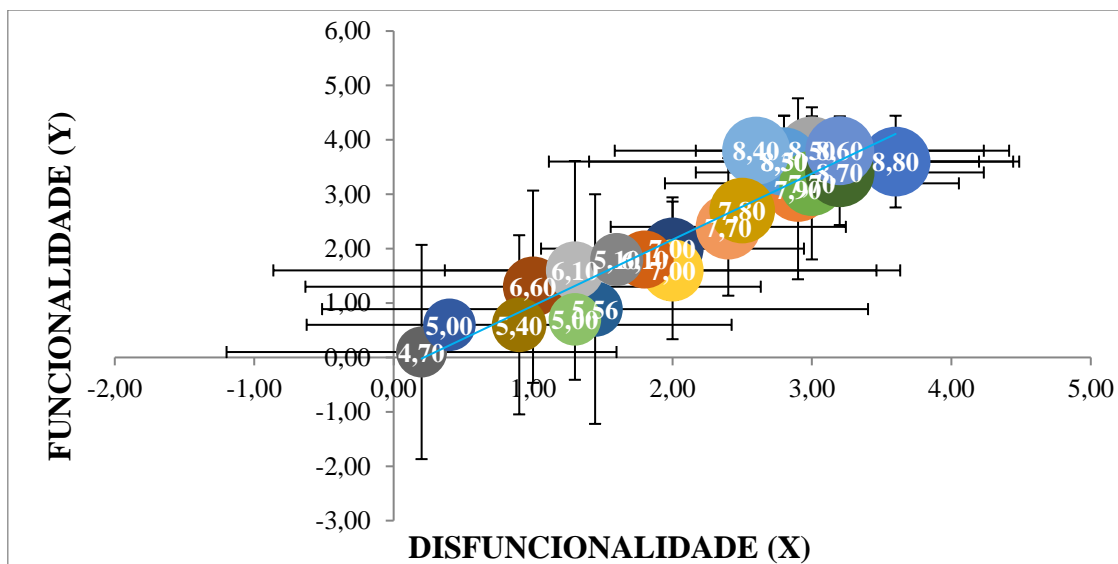


Figura 3 - Modelo de Kano.

Observando a figura prévia, sendo que os resultados obtidos estão concentrados ao longo da linha parametrizada, foi possível concluir que estes não são, globalmente, conflituosos ou de natureza questionável, de tal forma que os dados transmitem respostas claras e coerentes consoante a natureza da formulação dos questionários e funcionalidades propostas. Isto é, conclui-se que estes dados são oportunos de ser recorridos e utilizados para análises posteriores, referentes à elaboração da matriz de qualidade e de produto.

4. Elaboração de matriz de qualidade/produto

Obtidos os resultados da análise de Kano, seguiu-se pela elaboração da matriz de qualidade e de produto, das quais são direcionadas à avaliação dos requisitos de cliente e componentes do produto, conforme as especificações técnicas propostas para o mesmo.

4.1. Matriz de Qualidade - QFD

Para a elaboração da matriz de qualidade e produto foi necessário primeiro definir as especificações técnicas do produto, que por sua vez foram divididas em termos de

desempenho, dimensões e entre outros. Note-se que estas especificações foram agrupadas na seguinte tabela.

Tabela 1 - Especificações técnicas.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	Carga máxima	Estabilidade	Velocidade dos cavaletes	Velocidade do elevador	Tempo de operação	Tamanho do Elevador	Wheelbase máximo da mota	Altura de elevação	Altura dos cavaletes	Custo manufatura	Custo Manutenção	Acabamento Superficial	Custo energético
UND.	kg	mm	m/s	m/s	s	m	m	m	m	€	€	µm	€
GRUPOS	DESEMPENHO					DIMENSÕES				OUTROS			

A fim de se elaborar o QFD, colocaram-se os requisitos de cliente na matriz, dos quais foram agrupados em diferentes níveis e avaliados em duas escalas, uma conforme os resultados obtidos do modelo de Kano, e outra numa escala de prioridade, desde o requisito mais relevante para o mais desprezável. Seguidamente, colocaram-se as especificações técnicas, onde estas foram avaliadas em relação a possíveis pontos de melhoria conforme outros produtos da concorrência presentes no mercado.

Finalmente, estabeleceu-se a relação entre os requisitos e as especificações numa escala de 1, 3 ou 9, de acordo com a sua associação direta, que possibilitou determinar as características de qualidade iniciais. Estabelecendo uma listagem de produtos de concorrência a encontrar no mercado, fez-se a avaliação das características finais consoante os resultados obtidos da matriz principal e fez-se a avaliação dos requisitos de qualidade com base nos valores estabelecidos na escala de prioridade dos requisitos de cliente. Deste modo, permitiu se determinar quais as especificações e requisitos com o maior peso relativo, ou mais relevantes de serem abordados ou explorados. Note-se ainda que a matriz de qualidade foi remetida para o ANEXO B, na **Tabela 9**.

4.2. Matriz de produto

De modo a ser possível realizar a matriz de produto foi necessário primeiro definir os componentes propostos a serem integrados no produto, os quais foram divididos conforme os diferentes sistemas, e funcionalidades, visados para o produto. A fim de se verificar o diagrama, observe-se a seguinte figura.

Diagrama de Componentes

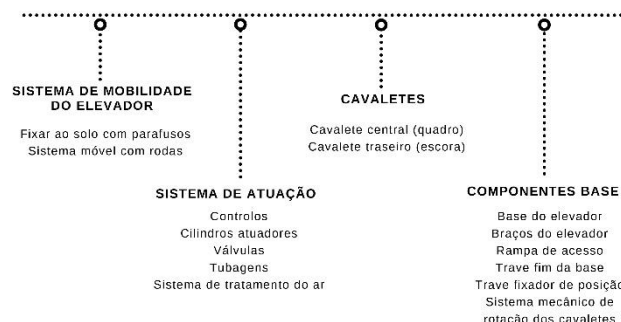


Figura 4 - Diagrama de componentes inicial.

Feita esta listagem, remeteu-se para a elaboração da matriz de produto, a qual, em semelhança com a matriz de qualidade, envolve o estabelecimento da relação entre as especificações técnicas e, neste caso, os próprios componentes definidos anteriormente, de onde é possível deduzir os atributos de qualidade, os quais servem de ferramenta para ser feita uma nova avaliação dos requisitos de cliente. Esta é feita com base na listagem de produtos da concorrência mencionados anteriormente, e traduz quais são os componentes mais críticos do produto, dos quais devem ser inteiramente integrados no desenvolvimento conceptual do mesmo, acompanhados pelos requisitos destacados pelo QFD. A fim de se visualizar a matriz de produto verifique-se a **Tabela 10** presente no ANEXO B.

5. Análise conceptual

Com a elaboração da matriz de qualidade e de produto remete-se para a exploração e seleção de conceitos, os quais procuram traduzir quais as funcionalidades e forma visadas para a primeira projecção do produto sob a forma do CAD volumétrico.

5.1. Exploração conceptual

A exploração conceptual começou pela realização de um *Mindmap* inicial, o qual foi concebido conforme uma divisão de diversos sistemas principais, funcionalidades e custos abrangentes do produto acompanhado pelos diversos conceitos gerados nesta fase inicial. A fim de se verificar este *Mindmap*, verifique-se a **Figura 22** presente no ANEXO

D. Com esta listagem completa, fez-se a geração de diversos conceitos completos, os quais agrupam diversos conceitos individuais conjugados, a fim de se determinar qual destes será o mais indicado e viável de ser desenvolvido ou integrado no produto. Estes conceitos englobaram a conjugação de diversos sistemas ou funcionalidades propostas para o produto, nomeadamente o sistema de atuação, sistema de elevação e posicionamento e funcionalidade dos cavaletes, de onde se retiraram 6 conceitos complexos, listados de A a F, os quais foram agrupados e colocados devidamente na **Figura 23** presente no ANEXO C.

5.2. Seleção de conceitos

Feita a exploração conceptual, seguiu-se pela seleção de conceitos. Esta seleção envolveu a comparação dos diferentes conceitos em dois processos iterativos, consoante uma matriz de avaliação, ou pontuação, e uma matriz de seleção. A primeira matriz procura estabelecer uma comparação de avaliação dos conceitos gerados face aos requisitos de cliente previamente explorados na matriz de qualidade, isto fixando um conceito inicial como referência de comparação. Desta matriz, foi possível reduzir o número de conceitos propostos de 6 para 3, sendo que dois destes resultam numa combinação conceptual, tal como se tem presente na seguinte tabela.

Tabela 2 - Análise de conceitos, pontuação inicial.

CRITÉRIO DE SELEÇÃO	CONCEITOS					
	A	B	C (REF)	D	E	F
Fácil utilização	+	+	0	-	-	-
Manutenção acessível	+	-	0	+	-	+
Fácil instalação	+	-	0	0	-	0
Confiabilidade alta	+	+	0	+	0	-
Elevação duas rodas	-	-	0	+	-	-
SOMA + 's	4	2	0	3	0	1
SOMA 0 's	0	0	5	1	1	1
SOMA - 's	1	3	0	1	4	3
PONTUAÇÃO	3	-1	0	2	-4	-2
POSIÇÃO	1	4	3	2	6	5
CONTINUAR?	COMBINAR	NÃO	COMBINAR	SIM	NÃO	NÃO

A segunda matriz, enquanto matriz de seleção, envolve determinar efetivamente o conceito final que deverá ser integrado conforme o desenvolvimento do produto. Deste modo, foi necessário atribuir o peso relativo inicial dos requisitos de cliente com base nos resultados obtidos do QFD e avaliar os conceitos numa escala de 1 a 5, a fim de se concluir qual destes melhor integra as necessidades do cliente especificadas. A fim de se verificar a matriz de seleção, observe-se a seguinte tabela.

Tabela 3 - Seleção final de conceitos.

CRITÉRIO DE SELEÇÃO	PESO RELATIVO	CONCEITOS			
		AC		D	
		AVALIAÇÃO	PONT. FINAL	AVALIAÇÃO	PONT. FINAL
Fácil utilização	25 %	4	1,00	2	0,50
Manutenção acessível	10 %	4	0,40	3	0,30
Fácil instalação	10 %	5	0,30	3	0,30
Confiabilidade alta	25 %	4	1,00	3	0,75
Elevação duas rodas	30 %	5	1,50	5	1,50
TOTAL		4,20		3,35	
POSIÇÃO		1		2	
CONTINUAR?		DESENVOLVER		NÃO	

Consoante esta avaliação final, procedeu-se pela seleção do conceito AC, o qual conjuga o uso um sistema de controlo pneumático, com elevação vertical cruzada, ou em “X”, e integração do uso de cavalete central e cavalete com apoio de escora, como apresentado na **Figura 5**. Deste modo, fez-se uma revisão do *Mindmap* previamente desenvolvido, o qual se remeteu para o ANEXO C consoante a **Figura 23**.



Figura 5 - Conceito AC, final selecionado.

5.3. CAD volumétrico

Feita a exploração conceptual e seleção do conceito proposto de ser integrado no sistema, seguiu-se por realizar a primeira projeção 3D do produto, a qual é conhecida como CAD volumétrico, servindo como proposta de solução face ao problema identificado e temática definida. Sendo esta uma projeção rudimentar, integrando sistemas simplificados, dos quais explorados e concebidos previamente, traduz essencialmente o funcionamento projetado do produto em desenvolvimento, servindo de base para futuras iterações do CAD mais complexas e detalhadas. A fim de se verificar o CAD volumétrico observe-se na **Figura 25** presente no ANEXO C.

5.4. FMEA de conceito

Obtido o CAD volumétrico, seguiu-se por realizar o FMEA de conceito, do qual envolve analisar possíveis falhas, seus efeitos, dos quais avaliados numa escala de severidade, e causas inerentes, que possam surgir consoante a proposta de conceitos previamente estabelecida. Note-se que se remeteu a tabela do FMEA de conceito para o ANEXO C, referente à **Tabela 11**.

Consoante os conceitos avaliados, destacam-se 4 dos quais tiveram um impacto direto no CAD volumétrico, promovendo estabelecer-se novas soluções a fim de minimizar as falhas encontradas:

- Arrumação compacta – resultando na implementação de redes de transporte de modo a facilitar a arrumação e mobilidade do produto;
- Peso leve – propondo uma revisão dos materiais selecionados do produto;
- Sistema anti queda da mota – advindo de possíveis problemas causados pelo controlo do produto sob um sistema pneumático, fez-se a substituição por um controlo elétrico com elementos mecânicos manuais;
- Posição estável em caso de falhas energéticas – solução concebida advém da acima descrita.

6. Análise funcional

Feita a análise conceptual completa do produto, culminando nas alterações funcionais e morfológicas obtidos depois do FMEA de conceito, seguiu-se pela análise funcional, a qual procura analisar e avaliar os componentes do sistema e suas funcionalidades na

vertente do FMEA de produto, de modo a minimizar possíveis falhas que possam surgir e resultar em mudanças no CAD volumétrico.

6.1. Diagrama de componentes e funções

A fim de se realizar o FMEA de produto foi necessário primeiro realizar o diagrama completo de todos os componentes a integrar no sistema nesta fase e, daí, estabelecer funcionalidades aos mesmos. O diagrama de componentes foi dividido em consecutivos grupos de sistemas principais e secundários, onde estão presentes componentes elementares associados. Consoante o desenvolvimento já realizado, visou-se fazer esta divisão em 3 grupos principais conforme o sistema do elevador, dividido entre sistema de atuação do mesmo e sua estrutura, sistema dos cavaletes, também dividido consoante os mesmos subsistemas, e o sistema elétrico. A fim de analisar o diagrama de componentes observe-se a seguinte figura.

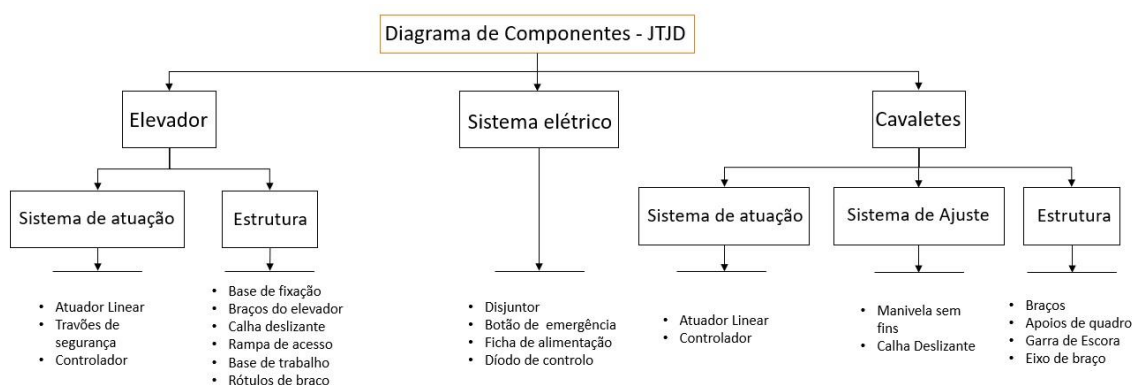


Figura 6 - Diagrama de componentes revisto.

Feita a listagem dos componentes, procedeu-se depois pela elaboração do diagrama de funcionalidades, estabelecendo uma relação com o diagrama anterior, o qual está presente na seguinte figura.



Figura 7 - Diagrama de funções.

Consoante a realização do diagrama de funções, conclui-se que o produto apresenta sistemas interligados relativamente ao funcionamento elétrico, isto face ao sistema de atuação dos elevadores e cavaletes, e ao próprio sistema elétrico do produto. De modo a verificar a interação direta entre ambos os diagramas de componentes e funções, remete-se para a **Figura 26** presente no ANEXO C.

6.2. FMEA de produto

Estabelecidos os diagramas de componentes e de funções, prosseguiu-se para a elaboração do FMEA de produto. Por comparação ao FMEA de conceito e consoante a descrição previamente mencionada, este procura avaliar e remediar possíveis falhas que possam advir do funcionamento dos componentes selecionados. Seguindo o mesmo tipo de avaliação, adiciona-se o cálculo do RPN, o qual permite determinar e avaliar quantitativamente a severidade, ocorrência e deteção de uma possível falha sobre um item/componente dos subsistemas presentes. Isto por sua vez, também viabiliza a identificação dos componentes críticos do sistema, os quais são propostos a serem submetidos a simulações posteriores. Desta forma, e depois ser realizado este FMEA, destacaram-se alguns componentes que sofreram alterações e tiveram um impacto direto no CAD volumétrico, tal que:

- Dentro do sistema do elevador:
 - Travões de segurança – Selecionaram-se atuadores que integram travas de segurança internas;
 - Braços do elevador – Fez-se a substituição para tubos normalizados com uma espessura de parede de 3,0 mm, a fim de suportar as cargas máximas previstas;
 - Calha deslizante – Propôs-se a integração de rolamentos acompanhados por uma calha maquinada, que em conjunto asseguram o funcionamento correto do sistema;
- Dentro do sistema dos cavaletes:
 - Manivelas sem fim – Adicionaram-se manivelas que permitem realizar os ajustamentos pretendidos;
 - Apoio de quadro – Refez-se o design do elemento e do sistema de ajustamento que apoia o quadro da mota;

- Garra de escora – Repensou-se o mecanismo e a sua funcionalidade prevista.

Feita a elaboração do FMEA de conceito e de produto foi possível proceder-se depois ao dimensionamento dos componentes técnicos a fim de serem integrados no sistema. Note-se ainda que o FMEA de produto foi remetido para o ANEXO C, referente à **Tabela 12**.

7. Dimensionamento dos atuadores

Advindo à natureza do produto e considerando o conceito escolhido na fase da exploração conceptual, será necessário proceder ao dimensionamento dos elementos técnicos integrados no produto, a fim de assegurar, dentro da variedade de produtos presentes no mercado, que os seleccionados são os mais indicados ao funcionamento do sistema. Consoante isto, conclui-se que o elemento mais preponderante de ser seleccionado corretamente corresponderia aos atuadores do elevador e dos cavaletes.

7.1. Decomposição e cálculo de forças

A fim de se fazer a elevação pretendida do elevador, foi necessário dimensionar um atuador capaz de suportar com toda a carga exercida sob a base de trabalho. Começou-se por definir as dimensões bases do elevador, as quais foram baseadas consoante outros produtos já presentes no mercado [2] e [3], consoante altura mínima e altura máxima de elevação, comprimento máximo do elevador e ângulo de abertura máximo e mínimo. A representação destas dimensões foi remetida para a **Figura 27**, enquanto também foram agrupadas na **Tabela 13**, ambas presentes no ANEXO D.

Sabendo que o atuador é integrado consoante uma determinada inclinação α , projetada a 25 °, num ponto de ligação nos braços do elevador, será necessário aplicar uma força F capaz de igualar a carga exercida no elevador, equivalendo ao peso da mota, como representado na **Figura 28** no ANEXO D.

Referente aos atuadores dos cavaletes, foi necessário fazer o dimensionamento dos atuadores de quadro e do apoio de escora. De modo a elevar-se a roda traseira da mota, integra-se o uso de dois atuadores de quadro, os quais, conjugados, devem suportar metade do peso total da mesma.

Após elevação da roda traseira é acionado o cavalete de apoio de escora, elevando a outra roda da mota e promovendo a ação de momentos de rotação. Assim, conclui-se que este atuador deve suportar sozinho metade do peso da mota e que o momento provocado pela

interação de forças deve ser igual ao momento exercido no ponto de fixação de quadro, mas de sentido oposto. A fim de verificar a interação de forças destes atuadores, observe-se as **Figura 29** e **Figura 30** presentes no ANEXO D.

Consoante estas interações, fez-se o cálculo das forças exercidas por estes atuadores seguindo um fator de segurança de 1,25 e um peso estipulado da mota de 330 kg seguindo outros produtos já presentes no mercado [4], cuja informação foi agrupada resumidamente na seguinte tabela.

Tabela 4 - Resultados do cálculo das reações dos atuadores.

ATUADORES	PESO DA MOTA [kg]	CARGA TOTAL [N]	CARGA RELATIVA [%]	FORÇA TOTAL DE ATUADOR [N]	MOMENTO EXERCIDO [N.m]
ELEVADOR	330	4042,50	100	9565,37	-
QUADRO			25	1010,63	-
ESCORA			50	2021,25	929,78

7.2. Seleção de equipamento

Consoante as forças calculadas anteriormente, fez-se a seleção de atuadores que assegurassem as condições de funcionamento impostas. Recorrendo aos catálogos técnicos disponibilizados pela LINAK [5] e [6], para os atuadores de quadro e de escora selecionou-se o modelo LA25 com uma carga máxima de 2500 N, enquanto para o atuador de elevador selecionou-se o modelo LA37 com uma carga máxima de 15000 N. Agruparam-se as propriedades técnicas destes atuadores na **Tabela 14** presente no ANEXO D.

8. CAD 1.0

Após a elaboração do FMEA de conceito e FMEA de produto realizaram-se devidas alterações funcionais e estruturais no CAD volumétrico, a fim de procurar prevenir as falhas previamente mencionadas. Isto conjugado ao dimensionamento dos atuadores a serem implementados nos cavaletes do elevador, quadro e apoio de escora, foi possível chegar-se a uma nova versão funcional do CAD, segundo a versão 1.0. A fim de observar este modelo, observe-se a seguinte figura.

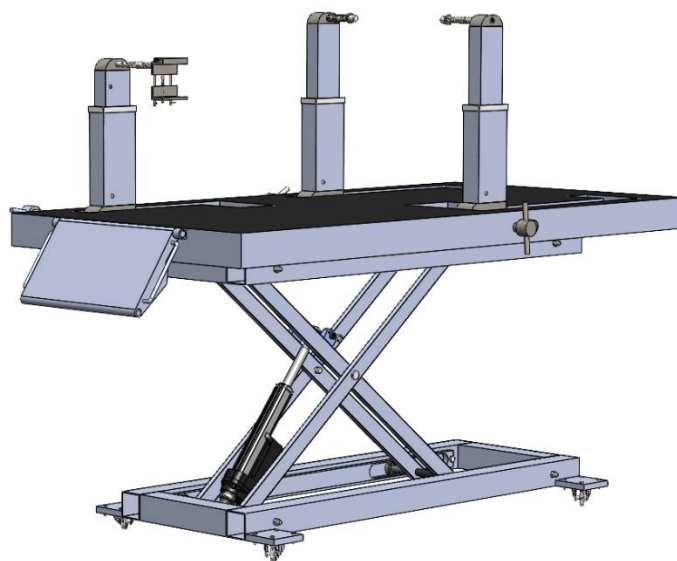


Figura 8 - CAD funcional, modelo 1.0.

8.1. Considerações de fabrico iniciais

A realização do CAD na sua versão 1.0 implicou também o estudo e definição das considerações de fabrico e materiais relativamente aos componentes usados. Estes acompanham também as mudanças que surgiram consoante o estudo dos elementos e conceitos, onde se priorizou a implementação de componentes normalizados e tipicamente acessíveis no mercado de modo a descomplexar o produto e minimizar o custo total deste, aproximando-o de uma solução funcional e economicamente viável. Foram agrupadas as considerações de fabrico associadas aos componentes do produto, bem como os materiais do mesmo na **Tabela 15** presente no ANEXO E.

9. Simulações e otimizações

Após chegar ao CAD funcional na sua versão 1.0, é necessário verificar que o produto assegura as condições de funcionamento propostas, de tal maneira que se deve colocar o produto à prova em condições virtuais de modo a avaliar o seu comportamento mecânico. Neste contexto, apresentam-se as transformações, derivadas das simulações, que os componentes sofreram, bem como estudos de otimização aplicados em certos componentes.

9.1. Seleção de componentes críticos

Através do FMEA de produto, foram identificados os componentes que se revelam como críticos, consoante o tipo de falha de funcionamento identificada, dos quais devem ser estudados e simulados de modo a garantir o desempenho projetado. Foram ainda classificados outros componentes como críticos consoante uma análise empírica interna, procurando verificar detalhadamente outros elementos previamente não identificados e ter uma visão mais completa e assertiva quanto à listagem dos componentes críticos, a qual foi remetida para a **Tabela 16** presente no ANEXO F.

9.2. Estratégia e metodologia de simulação

Para as simulações foi necessário definir uma metodologia de trabalho organizada seguindo uma linha de raciocínio ou modelo geral. Deste modo, consoante cada componente analisado, procurou-se aplicar o método dos elementos finitos de modo a aproximar as condições de simulação a situações reais. Conjugado a isto, as simulações são projetadas consoante o pior caso possível, a fim de se assegurar o bom funcionamento do produto em condições de segurança.

As simulações são divididas em várias etapas, das quais se parte pela apresentação do componente a analisar, a situação programada e o tipo de material associado. Segue-se pela definição das condições de fronteira e o tipo de malha utilizada. Finalmente, após realização das simulações, analisam-se os resultados obtidos e repete-se o procedimento descrito até se assegurar o funcionamento pretendido. Caso, em condições finais, se verifique que o coeficiente de segurança obtido pelas simulações é muito elevado, propõe-se a hipótese de serem realizadas possíveis otimizações. Estas são divididas entre otimizações de carácter dimensional, onde se executa manualmente o processo de otimização, ou topológico, recorrendo a um estudo numérico realizado através do *SolidWorks* [7]. De notar que todos os componentes aqui alterados apresentam as suas características de fabrico e materiais na **Tabela 17** presente no ANEXO F.

9.3 Suporte Inferior de Atuador

9.3.1 Simulação

A primeira simulação foi direccionada de modo a verificar se o apoio inferior do atuador suporta estruturalmente as cargas quando o elevador se encontra em funcionamento. Assim, foi primeiro necessário definir qual seria a magnitude da força que seria aplicada

neste componente, a qual foi projetada consoante a carga máxima do atuador de 15,00 kN [6], de modo a garantir que o componente não colapsava.

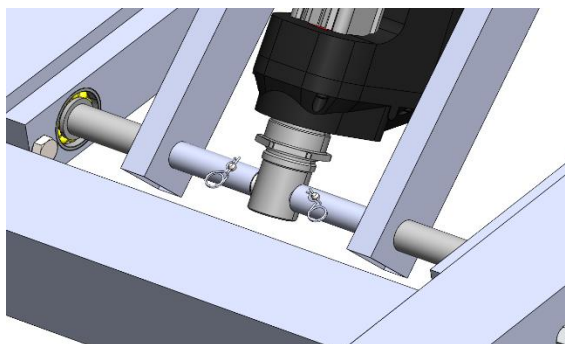


Figura 9 - Versão 1 do Suporte Inferior de Atuador.

Após a definição da carga aplicam-se restrições específicas de movimento que representem a montagem do componente no produto e o seu funcionamento, estas condições de fronteira e a malha aplicada do tipo *standard* encontram-se na **Figura 31** do ANEXO F. De notar que se simplificou o sistema acima a um veio, sendo este o de menor diâmetro, o que, no caso de obter resultados satisfatórios, garante que todos os outros componentes semelhantes correspondam a resultados ainda mais satisfatórios.

Os resultados obtidos revelam condições que não permitem o funcionamento do produto, o que implica a alteração da geometria deste componente, de tal forma que o deslocamento reflète num valor máximo de 6,00 mm, no que toca a avaliação das tensões equivalentes de *von Mises* máximas o valor ultrapassa o limite estabelecido para o regime elástico, e apresenta um fator de segurança inferior a 1,0.

Sendo este componente um veio, e não sendo do interesse do projeto aumentar o diâmetro do mesmo, procedeu-se a uma análise, onde foram investigados outros produtos já inseridos no mercado, para perceber os métodos utilizados para o suporte do atuador. Após a adaptação realizada inspirada na concorrência [8], chegou-se à geometria ilustrada na figura subsequente, esta que é soldada aos tubos da base.

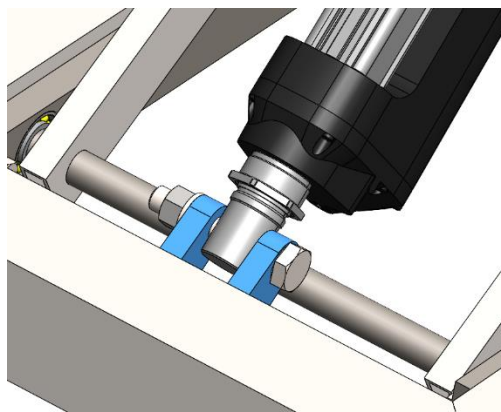


Figura 10 - Suporte Inferior de Atuador.

Procedeu-se então à simulação deste novo componente, onde se pretendeu replicar as condições de fronteira apresentadas na **Figura 32**. De notar que os parafusos que fazem a ligação entre o suporte e o atuador foram simplificados a veios.

Após esta análise, verificou-se que os resultados são satisfatórios e transmitem segurança no desempenho deste novo componente (**Figura 33**). A nível de deslocamentos obteve-se um valor máximo de 0,04 mm, com tensões equivalentes máximas 206,0 MPa e um fator de segurança de 3,4. Dado ao fator de segurança obtido, foi proposto submeter-se este componente a uma otimização.

9.3.2 Otimização

Com a geometria final da peça e o coeficiente de segurança obtido, pretendeu-se reduzir a quantidade de material da peça de forma estratégica, fazendo a redução do seu peso e minimizando os custos de obtenção, sem pôr em causa a rigidez final do componente.

A otimização realizou-se com recurso ao *SolidWorks* [7], onde se definiu as condições de carga máxima de 15,00 kN e um coeficiente de segurança de 1,2, as restrições de movimento foram as mesmas usadas na simulação. Com estas condições o programa indicou as zonas com baixas tensões para se poder realizar *pockets* (**Figura 34**). A otimização permitiu a diminuição da massa da peça em 184,0 g, passando dos 780,0 g iniciais para 586,0 g. A geometria final da peça está presente na seguinte figura.

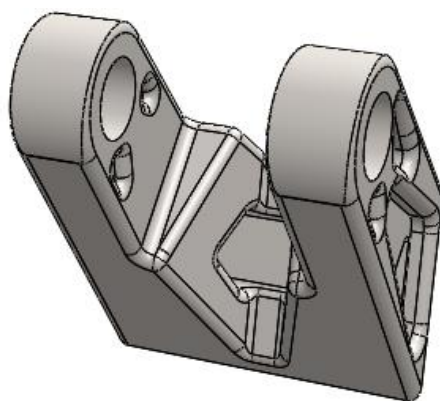


Figura 11 - Suporte inferior do atuador otimizado.

9.4 Braços do Elevador

9.4.1 Simulação

Com este estudo pretendeu-se verificar a capacidade de os braços do elevador suportarem toda a estrutura superior do produto e qualquer mota que venha a ser elevada. Desta forma, procedeu-se para a definição das cargas a aplicar na simulação, onde foi considerado oportuno distribuir o peso total da mota mais o do elevador por quatro braços. A magnitude aplicada em cada braço refletiu-se em 0,81 kN, daí sendo possível aplicar as condições de fronteira e registar a malha do tipo *standard*, como ilustrado na figura seguinte.

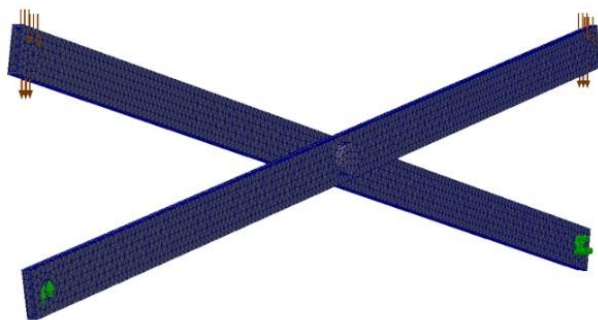


Figura 12 - Braços do Elevador, Condições de Fronteira e Malha.

Os resultados refletiram a necessidade de alterar a geometria do componente, uma vez que a nível de deslocamentos o valor máximo atingiu os 6,00 mm, mantendo o regime elástico e obtendo um fator de segurança 1,0, o qual não corresponde ao pretendido. Para corrigir este componente, foi necessário escolher uma versão mais robusta do tubo, aumentando assim a espessura da parede do tubo escolhido. Assim, para os novos braços

escolhidos, realizou-se exatamente o mesmo estudo efetuado anteriormente e retiraram-se os resultados que apresentaram valores esperados e pretendidos (**Figura 35**). No que toca aos descolamentos, reduziram-se para 4,00 mm, as tensões equivalentes mantiveram-se na ordem dos 220,0 MPa e obteve-se um fator de segurança 1,3. Desta forma valida-se outro componente, o qual não é necessário propor-se a otimização.

9.5 Suporte Superior de Atuador

9.5.1 Simulação

O estudo deste componente baseou-se naquele efetuado ao Suporte Inferior de Atuador no capítulo 9.3. Desta forma, utilizou-se a força máxima do atuador de elevador em causa para estudar o comportamento deste elemento (**Figura 13**). Para executar a simulação em causa, considerou-se uma carga uniformemente distribuída na zona central do veio, aplicou-se uma malha tipo *standard* e foram consideradas todas as condições para a simulação encontradas na **Figura 36**.

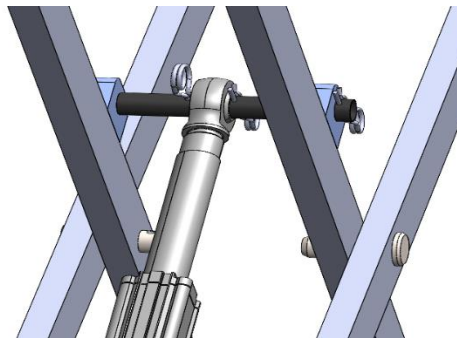


Figura 13 - Versão 1 do Suporte Superior de Atuador.

Quanto aos resultados desta simulação, foi obtido um deslocamento elevado de 6,00 mm, verificou-se que o regime elástico era ultrapassado e obteve-se um fator de segurança inferior a 1,0. Assim, concluiu-se que era obrigatório proceder à alteração do tipo de estrutura de suporte, optando-se então por soldar aos braços do elevador um tubo que irá servir de suporte à estrutura, de modo a satisfazer os resultados pretendidos. A estrutura apresenta o mesmo tipo de geometria que a alternativa apresentada na primeira simulação do capítulo, e encontra-se ilustrada na **Figura 14**.

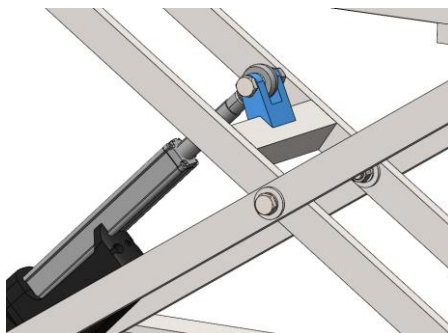


Figura 14 - Suporte Superior de Atuador.

Quanto à simulação, as condições de fronteira e malha utilizadas estão presentes na **Figura 37** no ANEXO E, em que o parafuso utilizado foi considerado um veio. Os resultados encontram-se na **Figura 38** no mesmo anexo, apresentando um deslocamento máximo de 0,04 mm, tensões equivalentes máximas de *von Mises* de 221,0 MPa e um fator de segurança de 4,3. Com isto verificou-se que existe margem de otimização.

9.5.2 Otimização

Seguindo o procedimento descrito no capítulo 9.3.2, foi realizada também uma otimização topológica. As condições de carga máxima e coeficiente de segurança são as mesmas, de 15,00 kN e 1,2 respectivamente, conjugando também as restrições de movimento usadas na simulação. Com estas condições, o programa indicou as zonas com baixas tensões para se poder realizar *pockets* (**Figura 39**). A otimização permitiu a diminuição da massa da peça em 187,0 g, passando dos 663,0 g iniciais para 476,0 g. A geometria final da peça foi apresentada na figura seguinte.

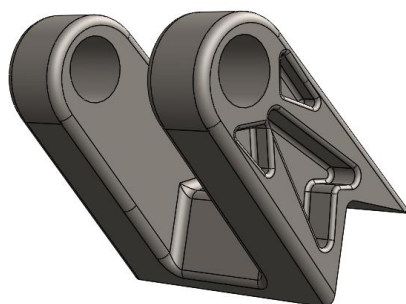


Figura 15 - Suporte superior do atuador otimizado.

9.6 Base do Chão do elevador

9.6.1 Simulação

O estudo da simulação da base do chão do elevador foi direcionado consoante ter-se a mota em cima da chapa. Para isso considerou-se a chapa [9] com uma espessura de 3,0 mm e a sua estrutura de suporte inferior (tubos) como apresentada na **Figura 16**. O peso da mota é distribuído pelas duas rodas, onde são aplicadas cargas pontuais nas zonas de contacto do pneu com a chapa. As condições referidas indicam uma força de magnitude de 3,20 kN, onde as condições de fronteira e a malha utilizada estão presentes na **Figura 40**.

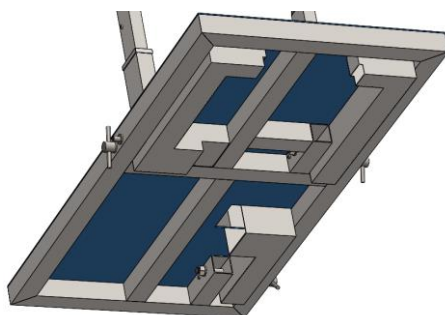


Figura 16 - Base do chão de elevador e estrutura inferior.

Após a execução da simulação, seguem-se os resultados que contam com um deslocamento máximo de 0,57 mm, um valor de tensão equivalente de *von Mises* máximo de 44,1 MPa e um fator de segurança de 6,4, os quais estão representados na **Figura 41**. Os valores obtidos asseguram um funcionamento seguro, porém estes derivam do facto de a base necessitar toda a estrutura inferior para tornar o produto funcional. Este componente além de apresentar rumo para possível otimização, necessita de uma revisão na simulação, a qual pode representar ainda melhor a realidade, através de alterações de condições de fronteira, projetando para outro cenário.

9.7 Ajustadores de Cavaletes

9.7.1 Simulação

Seguiu-se depois para a análise dos ajustadores de cavaletes (**Figura 17**), onde se pretendeu validar os ajustadores quando estes são submetidos às cargas, que em situação real, terão de suportar. Para definir as forças que iriam atuar no estudo, considerou-se se iriam utilizar as cargas máximas dos atuadores dos cavaletes. Assim projetou-se em função do atuador LA25 [5], ou seja, considerando uma força de magnitude 2,50 kN.

Conjugado a isto, foi aplicada uma malha *standard* e as condições de fronteira exemplificadas na **Figura 42**, considerando também a secção roscada como uma superfície lisa.

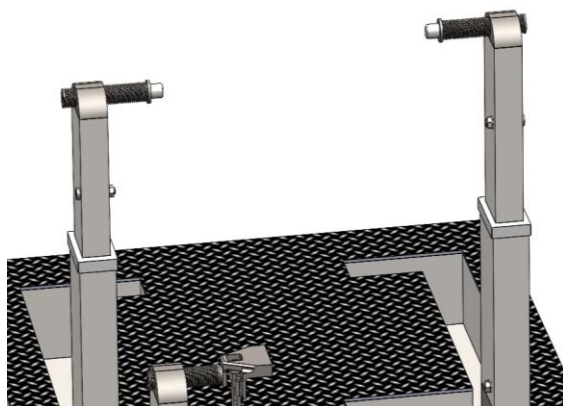


Figura 17 - *Ajustadores de Cavaletes.*

Posteriormente à otimização, verificou-se que o deslocamento máximo foi de 1,10 mm, com um fator de segurança de 0,6 e que o regime elástico foi ultrapassado, o que levou a reconsiderar o diâmetro exterior do ajustador.

Após um aumento do diâmetro em 10,0 mm foi possível obter resultados que favorecem as metas propostas a atingir, onde agora se verificou que o deslocamento máximo correspondia a 0,30 mm, que as tensões equivalentes de *von Mises* máximas não ultrapassam o valor estabelecido pela tensão limite de elasticidade, com um valor associado de valor 136,0 MPa, e que o fator de segurança é aproximadamente 2, dos quais os resultados estão presentes na **Figura 43**. Desta forma prosseguiu-se para as simulações dos restantes componentes.

9.8 Garra de Escora

9.8.1 Simulação

A garra de escora é um dos componentes característicos do projeto (**Figura 18**) e pretendeu-se, através deste estudo, prever o seu comportamento quando estiver a elevar a roda frontal de uma moto. Nesta etapa, a simulação, tal como nos cavaletes da moto, foi projetada consoante uma força em estudo de 2,50 kN, sendo esta também derivada do atuador selecionado.

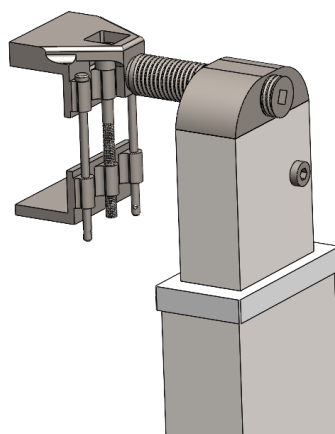


Figura 18 - Garra de Escora.

Para o estudo apenas se considerou a parte superior da escora, uma vez que é nesta que se prevê que as forças estejam distribuídas durante a operação. Assim distribuiu-se uma carga uniforme com o valor de 2,50 kN, na zona que entra em contacto com a escora da mota. Também é importante referir que se simplificou a montagem da garra em apenas um componente, com o objetivo de simplificar o estudo realizado, como é visível na **Figura 44**.

Após serem realizadas as simulações, conclui-se que os resultados obtidos foram, de forma geral, satisfatórios. Para o deslocamento máximo verificou-se um valor de 0,50 mm, com tensões máximas equivalentes de 175,0 MPa e um coeficiente de segurança de 1,5. Estes resultados permitiram prosseguir para o estudo seguinte, no entanto é importante referir que esta simulação poderia ter sido mais bem explorada se fossem utilizadas todas as peças individuais integradas no sistema da garra. Os resultados apresentam-se na **Figura 45**.

9.9 Veios

9.9.1 Simulação

Nesta etapa das simulações, de modo a não tornar a análise demasiado extensiva, analisaram-se os três últimos componentes em conjunto, uma vez que são todos veios com características semelhantes, apenas com dimensões distintas. Todos os sistemas foram simulados considerando um veio liso, com condições de fronteira e tipos de malha semelhantes, sem encastramento em ambas as pontas do veio, como se pode visualizar na figura seguinte.

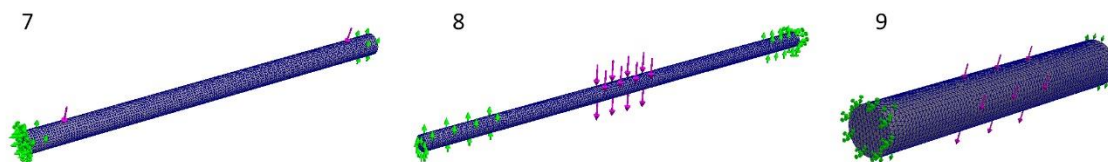


Figura 19 - Considerações de fronteira e malha para as simulações.

Para a definição da magnitude das forças, previu-se que os componentes 7 e 8 teriam de aguentar cada um com um quarto do peso da mota (82,50 kgf), uma vez que ambos trabalham em simultâneo e encontram-se nos dois cavaletes de quadro. Já para o último componente, o mesmo foi testado considerando a força máxima do atuador LA25 [5] de magnitude 2,50 kN. Após serem executadas todas as simulações analisaram-se os resultados que se encontram tabelados abaixo.

Tabela 5 - Resultados das simulações relativamente aos componentes 7,8 e 9.

ELEMENTO	RESULTADOS		
	μ [mm]	σ , von Mises [MPa]	FOS
7	0,02	163,0	1,2
8	0,04	24,0	11,6
9	0,03	160,0	1,8

Desta forma concluiu-se que seria obrigatório otimizar, através da redução do diâmetro, componente 8, uma vez que se encontra bastante sobre dimensionado correspondendo a um fator de segurança de 11,6. Reduziu-se o diâmetro para 15 mm, obtendo um coeficiente de segurança de 2, do qual se assegura o correto funcionamento do produto.

9.10 Tabela resumo, resultados das simulações

A tabela seguinte pretende mostrar como a etapa das simulações influenciou os componentes ao longo do desenvolvimento do produto. Verificou-se que esta etapa apresenta um papel fundamental no desenvolvimento de um produto e permite prevenir o mau funcionamento dos diferentes sistemas e assegurar as condições de segurança.

Tabela 6 - Tabela resumo dos resultados das simulações.

COMPONENTES	Deslocamentos		Tensões equivalentes de von Mises Máximas		Fator de Segurança	
	[mm]		[MPa]		[-]	
	CAD 1.0	CAD 2.0	CAD 1.0	CAD 2.0	CAD 1.0	CAD 2.0
1	6,00	0,04	>275,0	206,0	0,7	1,2
2	6,00	4,00	260,0	220,0	1,0	1,3

3	6,00	0,04	>275,0	221,0	0,7	1,2
4	0,57	[-]	44,1	[-]	6,4	[-]
5	1,10	0,30	>283,0	136,0	0,6	2,0
6	0,50	[-]	175,0	[-]	1,5	[-]
7	0,02	[-]	163,0	[-]	1,2	[-]
8	0,04	0,28	24,0	130,0	11,6	2,0
9	0,03	[-]	160,0	[-]	1,8	[-]

9.11 Considerações de fabrico finais

Após realização do estudo das simulações sobre os componentes críticos, fez-se a revisão das considerações de fabrico inicialmente propostas de todos os componentes a integrar no produto, conjugado com o material considerado. Esta informação foi agrupada na **Tabela 17** presente no ANEXO E.

10 Modelo de negócio

Considerou-se que a JTJD Cavaletes é sediada em Aveiro e pretende manter relações de qualidade e confiança com as empresas vizinhas. A sede conta com pessoal especializado na montagem, soldadura e verificação de qualidade do produto e é aqui que o produto sai pronto para a entrega em direção aos clientes. Assim, o material é comprado, e para os componentes que não são normalizados recorre-se a outras sociedades na zona para desenvolver a maquinagem destes elementos (B2B).

No que toca ao *marketing*, o produto visa ser publicitado através das redes sociais e vídeos gravados recorrendo a referências de desportos motorizados, como equipas e pilotos, para demonstrar a utilização do produto. As feiras de motas e eventos desportivos revelam-se como um ótimo local para se exibir o produto, sendo aqui possível demonstrar o funcionamento do mesmo em contacto com o público-alvo.

No que toca à geração de lucro, este baseia-se na venda dos elevadores e da venda do serviço de manutenção dos mesmos. Existe também a possibilidade de se alugar o elevador para algum evento e, além disto, de ser feita a venda de peças e acessórios para o elevador, como uma outra fonte de retorno.

O Quadro de modelo de negócios encontra-se presente na **Figura 46** no ANEXO G, e representa um mapa visual da estratégia a utilizar pela JTJD Cavaletes.

11. Análise ciclo de vida

A análise ciclo de vida é a metodologia que permite avaliar os impactos (ambiental, social e económico) associados a cada fase do produto e identificar possíveis melhorias, desde o seu desenvolvimento, ao descarte do utilizador, passando pelo seu pico de sucesso no mercado e pela atualização de sistemas que o poderão tornar de novo em um produto atrativo.

11.1 Análise de principais matérias-primas

No caso do produto concebido, a maioria dos componentes integrados são normalizados e catalogados, sendo que são poucos os componentes que necessitam de fabrico exclusivo.

Procedeu-se a uma análise superficial sobre as matérias-primas e o impacto ambiental que o produto teria. No que toca à maioria dos componentes integrados, o aço é a principal matéria em uso. A fim de minimizar o impacto ambiental associado ao produto visado, foi verificado se as empresas fornecedoras do material necessário apresentam declarações ambientais sobre o processo, dado que a produção de aço requer um elevado consumo energético e provoca a emissão de gases de efeitos de estufa e alguns poluentes. No caso do principal fornecedor de tubos e chapas, *Tubos Mecánicos S.A*, um distribuidor espanhol, verificou-se que este aplica políticas de reutilização de material [10] que é desperdiçado, além disto apresenta ainda um certificado de gestão ambiental que cumpre com a norma ISO 14001.

11.2. Análise do período de vida útil

Uma vez que são os atuadores os elementos fundamentais do produto, e estão muito sujeitos a desgaste, começou-se por estimar o seu tempo de vida útil. Para ser feita esta análise, considerou-se apenas utilizadores profissionais (oficinas), correspondendo ao maior público-alvo à aplicação mais exigente do produto.

Verificou-se, em média, nas oficinas, que cada elevador realiza 8 elevações por dia (referenciado através dos resultados obtidos dos formulários distribuídos), representando 16 ciclos diários por atuador, por sua vez equivalente a 4160 ciclos anuais, considerando 5 dias úteis de trabalho por semana.

Com auxílio do calculador da LINAK [11], procedeu-se à análise do ciclo de vida, tendo em conta o curso de elevação e a carga máxima. No atuador do elevador, LA37 [6],

considerou-se o pior caso possível, 9,50 kN, fundamentado na **Tabela 4** e na **Tabela 14**, e um curso máximo de 161,0 mm, que corresponde à elevação total do elevador. Dadas as condições de funcionamento referidas, o fabricante estima que este atuador será capaz de realizar 63756 ciclos, correspondendo a um período de vida útil de funcionamento de 15 anos.

Nos braços dos cavaletes, onde estão presentes atuadores LA25 [5], considerou-se uma carga máxima de 2,00 kN, e um curso de 110,0 mm, correspondente à altura de elevação dos cavaletes. Com estas considerações o fabricante estima, que cada atuador será capaz de realizar 72530 ciclos, que representa cerca de 17 anos de funcionamento.

Assim, passado os 15 anos de utilização, surge a necessidade de fazer-se a substituição dos atuadores elétricos, renovando o período de utilização do produto. Na eventualidade de o utilizador não estar disposto a este investimento, surge a possibilidade de rebater os cavaletes definitivamente e de ser aplicado um atuador hidráulico manual no elevador, usando-o como um elevador convencional.

Na hipótese de se pretender descartar totalmente o produto, sendo que este é composto maioritariamente por metais, como é exposto na **Tabela 17** das considerações de fabrico final, conclui-se que pode ser remetido para a reciclagem, à exceção dos componentes elétricos.

11.3. Projeção de mercado

Depois do produto bem implementado no mercado, com feedback positivo dos utilizadores, este atinge o pico máximo de vendas que começa a diminuir ao longo do tempo. De modo a tornar de novo o produto atrativo no mercado, deixa-se em aberto a possibilidade da implementação de motores de passo a substituir todas as alavancas manuais, garantindo assim um funcionamento totalmente automatizado e menos trabalhoso para o utilizador. A implementação desta opção ilustra-se no gráfico abaixo referente à curva a roxo, onde é visível que esta proposta iria influenciar positivamente a extensão do tempo vendas do produto, traduzindo-se também num prolongamento dos lucros do mesmo (curva azul).

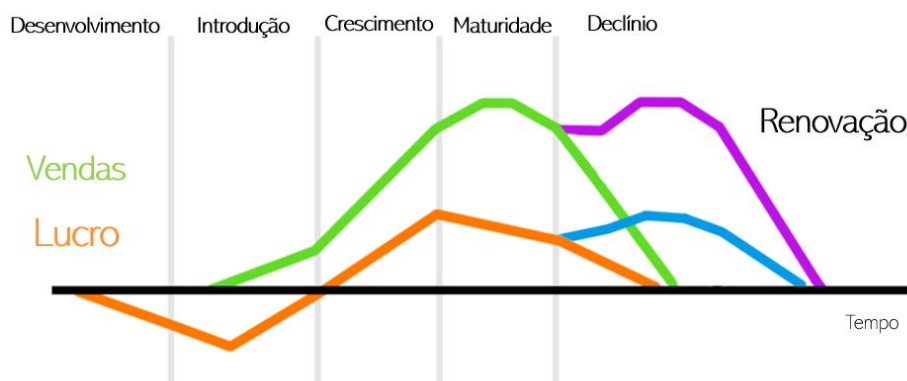


Figura 20 - Esboço de vendas e lucros do produto em função do tempo.

12. CAD 2.0

Após a análise dos componentes críticos consoante simulações e possíveis otimizações aplicadas, foram realizadas as devidas alterações na projeção 3D do produto, o qual, nesta fase final, corresponde ao CAD na sua versão 2.0. A fim de se observar o produto final concebido, observe-se a seguinte figura.



Figura 21 - Renderização do produto final, modelo CAD 2.0.

13. Conclusões e Propostas de melhoria

Tendo em conta os objetivos propostos para o desenvolvimento deste projeto, e considerando a projeção do mesmo concebida, conclui-se que a solução proposta atende efetivamente às necessidades especificadas, tanto a nível dimensional como funcional.

Com o decorrer do desenvolvimento do projeto verificou-se a importância de um estudo antecedente completo e detalhado relativo ao consumidor/público-alvo definido e às necessidades de cliente identificadas, as quais serviram de base para conceção dos

sistemas integrantes do produto, seus conceitos e diversos componentes, com as respectivas funcionalidades especificadas. Através da projeção do produto e a sua análise detalhada, tentou-se dar resposta aos requisitos mais importantes de cliente e promover a conceção de um produto visualmente apelativo, funcional e economicamente viável de ser comercializado, destacando a integração de cavaletes embutidos na base de trabalho. Este conceito elimina a necessidade de um consumidor ter de investir em dois produtos em separado, procurando promover a facilidade de se realizarem atos de manutenção em motas com segurança e conforto.

Foi muito importante realizar-se a análise do FMEA de conceito e de produto a fim de verificarmos quais os componentes e conceitos que deveriam ser alterados de modo a minimizar possíveis falhas identificadas do funcionamento do mesmo. Isto, por sua vez, promove até o estudo detalhado dos componentes críticos identificados consoante o seu comportamento mecânico, levando ao estudo das simulações. Estas permitiram avançar com segurança para a última versão do CAD, no entanto realça-se que algumas das simulações realizadas podem ser melhoradas, uma vez que não representam na integra a realidade a que os componentes serão submetidos, acabando assim por limitar a análise efetuada.

Embora a solução projetada atenda eficazmente às necessidades especificadas, a realização de mais estudos poderá permitir identificar novas oportunidades de melhoria e aumentar ainda mais o potencial de sucesso do produto no mercado. É importante mencionar que ainda existem alguns estudos a serem realizados no âmbito do sistema elétrico, como o quadro elétrico, que poderiam contribuir para aprofundar ainda mais a solução proposta, uma vez que este sistema é necessário para toda a funcionalidade do produto.

Através da realização do projeto, foi possível concluir que foi essencial a definição e aplicação de uma metodologia de trabalho organizada e estruturada, a fim de serem desenvolvidas soluções mais detalhadas e coerentes consoante a natureza do projeto e do produto final concebido.

Esperamos também que o desenvolvimento deste produto não fique por aqui, uma vez que é com bastante orgulho e uma enorme vontade que pretendemos patentear o mesmo e quem sabe um dia revolucionar o mercado. Finalizando, gostaríamos de agradecer aos docentes de PDP pelo apoio, em especial ao Professor Sérgio Tavares, que ao longo de todo o semestre nos ajudou e permitiu um melhor desenvolvimento do produto.

14. Bibliografia

- [1] “ACAP | Estatísticas.” <https://www.acap.pt/index.php?route=base/pt/estatisticas>
- [2] “Elevador de Moto Mondolfo Ferro - Titan 600M.” <https://altaroda.pt/pt/produtos/titanm600> (accessed Jan. 09, 2023).
- [3] “KROFtools | Elevador de Motos Hidráulico 450KG | Anecra Revista.” <https://www.anecrarevista.pt/2022/03/28/kroftools-elevador-de-motos-hidraulico-450kg/> (accessed Jan. 09, 2023).
- [4] “Motas de maior porte e peso do mercado | Motomais.” <https://motomais.motosport.com.pt/ensaios/6-motos-para-condutores-mais-corpulentos/> (accessed Jan. 09, 2023).
- [5] Linak, “Atuator LA25.” [Online]. Available: <https://www.linak.com/produtos/atuadores-lineares/la25/>
- [6] Linak, “Atuator LA37.” [Online]. Available: www.linak.com/techline
- [7] “SOLIDWORKS.” [Online]. Available: <https://www.solidworks.com/>
- [8] Bremen, “Elevadores de Moto.”
- [9] S. Armazém and A. Barros, “TABELA TÉCNICA CHAPA PRETA ANTI-DERRAPANTE.” [Online]. Available: www.masterferro.pt
- [10] Tubos Metálicos Sa, “Certificado de Sistema de Gestão Ambiental ISO14001”.
- [11] “Calculadora de vida útil de atuadores Linak.” <https://www.linak.com/produtos/atuadores-lineares/la36/#/lifetimeprediction>

ANEXOS

ANEXO A – MODELO DE KANO

Tabela 7 - Listagem de funcionalidades e perguntas dos formulários.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	PERGUNTA
F1	Fácil utilização	1
F2	Manutenção acessível	2
F3	Fácil instalação	3
F4	Longo período útil de utilização	4
F5	Confiabilidade alta	5
F6	Ajustável à mota	6
F7	Alta velocidade de elevação	7
F8	Arrumação compacta	8
F9	Portabilidade	9
F10	Peso leve	10
F11	Anti queda da mota	11
F12	Posição estável em falhas energéticas	12
F13	Vibração e Ruído	13
F14	Comando remoto de controlo do elevador e cavaletes	14
F15	Elevação das duas rodas	15
F16	Cavaletes retiráveis	16
F17	Preço acessível	17

Tabela 8 - Resultados globais dos formulários.

USER/Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	18	22
User 1	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	4	5	3	5	4	2	4
User 2	5	5	5	5	4	5	4	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5
User 3	5	4	5	5	5	5	4	2	2	2	5	5	5	5	3	5	5
User 4	5	5	5	5	5	3	4	1	1	2	5	4	5	2	4	1	2
User 5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	4
User 6	5	5	5	5	5	5	3	4	4	5	4	5	4	4	4	2	4
User 7	4	4	4	5	5	4	4	4	2	4	5	5	4	3	3	3	5
User 8	5	5	5	5	4	4	4	4	2	2	5	5	4	3	4	2	4
User 9	4	5	5	4	5	5	4	4	3	2	4	5	4	4	3	3	5
User 10	5	5	5	5	5	5	4	4	1	2	5	5	4	2	4	3	5

ANEXO B – MATRIZ QUALIDADE E PRODUTO

Tabela 9 - Matriz de qualidade.

MATRIZ DE QUALIDADE					DESEMPENHO					DIMENSÕES					OUTRAS			Avaliação dos requisitos de qualidade							
REQUISITOS DE CLIENTE		KANO	Prioridade inicial (IDi)	ESPECIFICAÇÃO ES TÉCNICAS	Carga máxima	Estabilidade	Velocidade dos cavaletes	Velocidade do elevador	Tempo de operação	Tamanho do Elevador	Wheelbase máximo da moto	Altura de elevação	Altura dos cavaletes	Custo manufatura	Custo Manutenção	Acabamento Superficial	Custo energético	Elevadores Tradicionais	Cavaletes Tradicionais	Cavalete central de quadro	Avaliação da concorrência (Mi)	Avaliação estratégica de mercado (Ei)	ATRIBUTOS DE QUALIDADE corrigidos (IDi*)	Peso relativo	
					◇	▲	▲	▲	▲	◇	◇	◇	◇	▼	▼	◇	▼	Elevadores Tradicionais	Cavaletes Tradicionais	Cavalete central de quadro	Avaliação da concorrência (Mi)	Avaliação estratégica de mercado (Ei)	ATRIBUTOS DE QUALIDADE corrigidos (IDi*)	Peso relativo	
Nível primário	Nível secundário			Direção de melhoria	◇	▲	▲	▲	▲	◇	◇	◇	◇	▼	▼	◇	▼								
Operacionalidade	Fácil utilização	U	14						3	3		3				3		1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	14	8%	
	Manutenção acessível	U	8							3		3			9		3	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	16	9%	
	Fácil Instalação	U	2							9							3	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2	1%	
	Controlo remoto/pedal	O	11						3					3	1			0,5			0,5	0,5	5,5	3%	
	Elevação das duas rodas	U	17		3	9	1	1	3		1	3		3	3		3		1,0	1,0	1,0	1,0	17	9%	
	Cavaletes retiráveis	U	12						1					3	3						0,5	0,5	6	3%	
	Arrumação compacta	O	3			3				9	3			9	3		1	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	4,243	2%	
Custo	Preço acessível	U	10		9	9	9	9		9	9	9	9	9	3	3	1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	20	11%	
Performance	Longo período útil de utilização	U	7						3					9	9	1		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	7	4%	
	Confiabilidade Alta	U	15		9	9								1				2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	30	17%	

Precisão	Ajustável à mota	U	9								3	3	3	3		1		1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	6,364	4%
	Alta velocidade de elevação	O	6		9	3	9	9	9	3		9	3	9	3		9	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	4,243	2%
Transporte	Portabilidade	O	5							9				9	3		3	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	10	6%
	Peso leve	O	1		3	3				9				9				2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2	1%
Segurança	Anti queda Mota	U	16		3	9	1	1		3		3	3	9	3		1	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	22,63	13%
	Posição estável em falhas energéticas	U	13		3	3				3		3	3	9	3		3	1,0			1,0	0,5	9,192	5%
Conforto	Vibração e Ruído	O	4			3	1	1		1		1	1	9		9	3	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	2,828	2%
Unidades e características	MÉTRICAS (UNIDADES)				kg	mm	m/s	m/s	s	m	m	m	m	€	€	µm	€							
	Características de qualidade inicial (IQj)				641	874	261	261	175	545	229	477	310	874	492	141	256							
Avaliação das características de qualidade	Elevadores Tradicionais				1,0	1,0		1,0	0,5	0,5	0,5	0,5		2,0	2,0	1,0	2,0							
	Cavaletes Tradicionais				1,0	1,0	1,0		1,0			1,0	1,0	2,0	1,0	0,5	2,0							
	Cavalete central de quadro				1,0	1,0	0,5		0,5			1,0	1,0	2,0	1,0	0,5	2,0							
	AVALIAÇÃO COMPETITIVA (Bj)				1,5	1,0	1,5	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0							
	DIFICULDADE DE ACTUAÇÃO (Dj)				1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0							
	Características de qualidade revisto (IQj*)				785	1236	319	369	175	545	229	477	310	874	492	141	256							
	Peso relativo				13%	20%	5%	6%	3%	9%	4%	8%	5%	14%	8%	2%	4%							

Tabela 10 - Matriz de produto.

		DESEMPENHO				DIMENSÕES					OUTRAS				Avaliação dos requisitos de qualidade							
MATRIZ DO PRODUTO	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	Carga máxima	Estabilidade	Velocidade dos cavaletes	Velocidade do elevador	Tempo de operação	Tamanho do Elevador	Wheelbase máximo da nota	Altura de elevação	Altura dos cavaletes	Custo manufatura	Custo Manutenção	Acabamento Superficial	Custo energético	ATRIBUTOS DE QUALIDADE (IDi)	Elevadores Tradicionais	Cavaletes Tradicionais	Cavalete central de quadro	avaliação da concorrência (Mi)	Avaliação estratégica de mercado (Ei)	ATRIBUTOS DE QUALIDADE corrigidos (IPi*)	peso relativo
COMPONENTES DO PRODUTO	15	78 5	123 6	319	369	17 5	54 5	22 9	4 7 7	31 0	874	492	141	256								
Base elevador		3	3				9	9			3	3	9		1839 5	1,0			1,0	1,0	18394,82	8%
Braços elevador		9	9		3		1		9		3	1			2724 2	1,0			1,0	1,0	27241,79	12%
Trave fim da base						1		3			3				3483	0,5			0,5	1,0	2462,52	1%
Traves de fixador de posição		3	9								3				1610 2	1,0			1,0	1,0	16101,56	7%
Rampa			3			9	9				3		3	3	1400 0	0,5			0,5	1,0	9899,43	4%
Sistema mecânico de rotação de cavaletes		1	3			3					3	1	3	1	8810				0,5		0,00	0%
Fixador elevador com parafusos			3								1	1			5075	0,5			0,5	0,5	2537,49	1%
Sistema móvel com rodas			3								1	1			5075	0,5			0,5	0,5	2537,49	1%
Controlos						3					3	3	1	3	5532	1,0			1,0	1,0	5531,85	2%
Cilindros atuadores		9	3	9	9	9			9	9	9	9		3	3867 7	1,5			1,5	1,0	47369,66	20%
Válvulas		3		3	3	3			3	3	3	3		3	1216 8	1,5			1,5	1,0	14903,14	6%
Tubagens		3		3	3	3			3	3	3	3		3	1216 8	1,0			1,0	1,0	12168,36	5%
Sistema de tratamento de ar											3	3		3	4867	0,5			0,5	0,5	2433,49	1%
Cavalete central (Quadro)		9	9	9		3		3	3	3	3	3	1	3	2963 9			1,0	1,0	1,5	36300,45	16%
Cavalete traseiro (escora)		9	9	9		3		3	3	3	3	3	1	3	2963 9		1 , 0		1,0	1,5	36300,45	16%

MÉTRICAS (UNIDADES)	kg	mm	m/s	m/s	s	m	m	m	m	€	€	µm	€	
---------------------	----	----	-----	-----	---	---	---	---	---	---	---	----	---	--

ANEXO C – ANÁLISE CONCEPTUAL E FUNCIONAL

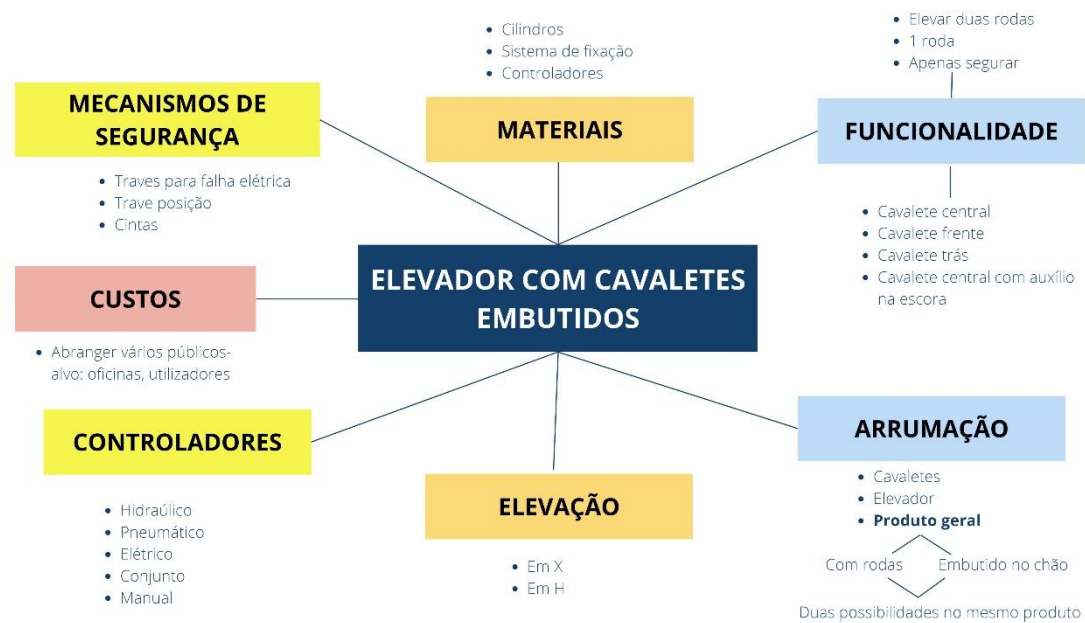


Figura 22 - Mindmap - conceitos iniciais.

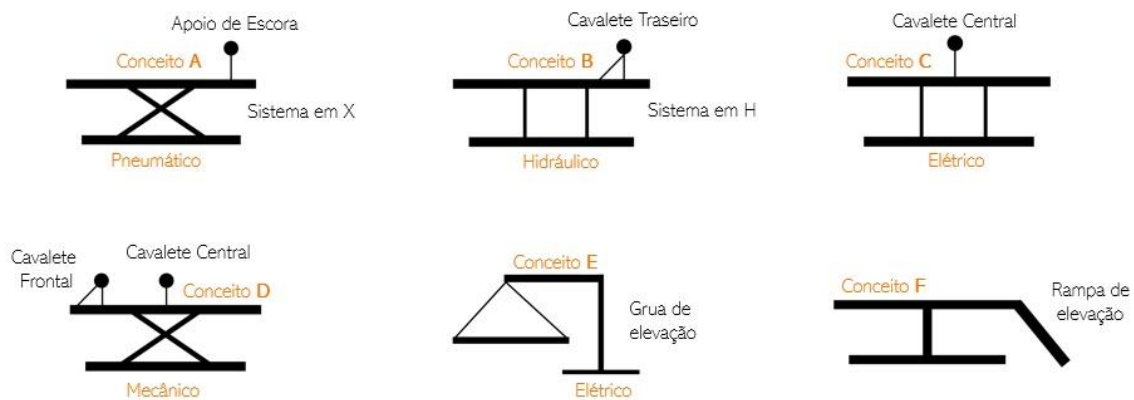


Figura 23 - Conceitos inicialmente propostos.

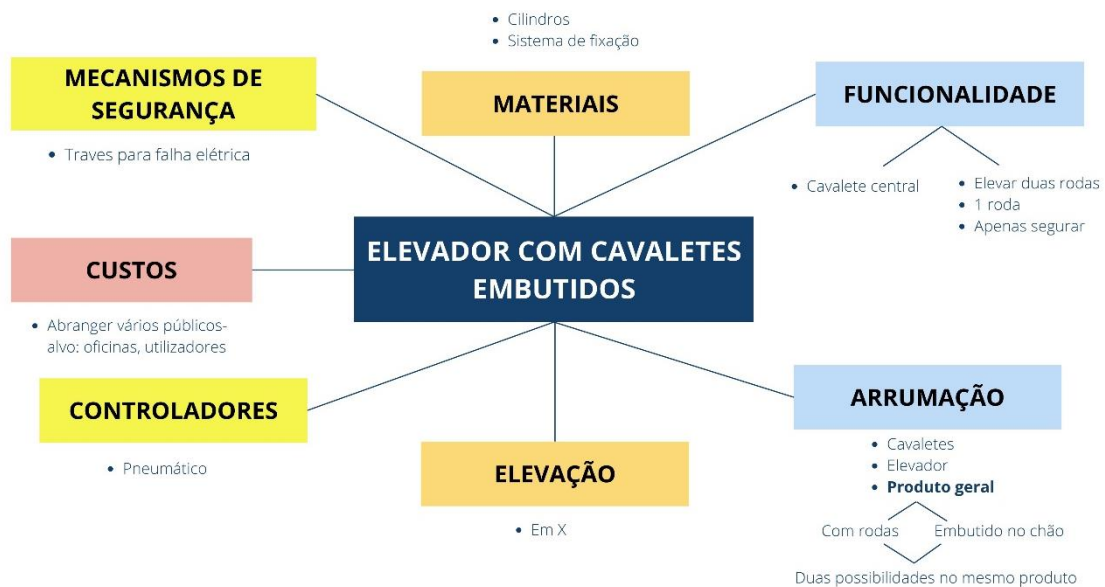


Figura 24 - Mindmap – conceitos finais seleccionados.

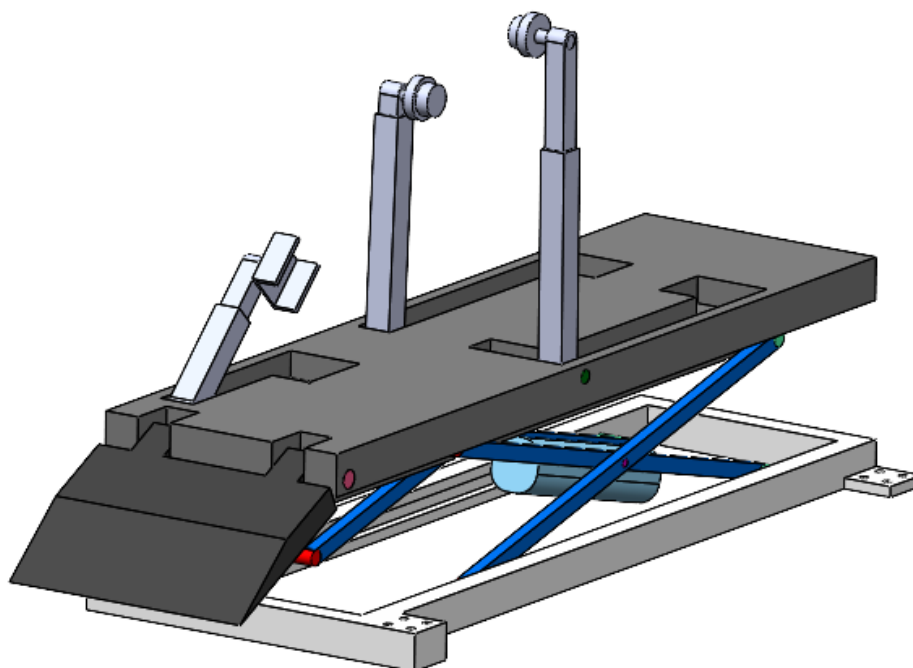


Figura 25 - CAD volumétrico.

Tabela 11 - FMEA de conceito.

ITEM/FUNÇÃO	TIPO DE FALHA POTENCIAL	CAUSA POTENCIAL DE FALHA	POSSÍVEIS EFEITOS DAS FALHAS	TERMOS CRÍTICOS DA FALHA	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA
Fácil utilização	Utilização complexa	Produto pouco intuitivo	Utilizador confuso	Falha Maior	Realização manual de instruções Simplificação de sistemas
Manutenção acessível	Manutenção dispendiosa	Sistema que requerem manutenção excessiva	Custo adicional ao produto	Falha Maior	Otimização de sistemas
Fácil Instalação	Montagem complexa	Etapas de montagem complexas	Utilizador insatisfeito	Falha Maior	Rever e simplificar montagem
Cavaletes rebatíveis	Condiciona o funcionamento do produto	Sistema de montagem volumoso não permite o rebatimento	Causa constrangimentos no rebatimento do cavalete	Falha Maior	Projetar de modo a englobar todas as situações
Arrumação Compacta	Volume excessivo	Dificuldade em compactar o sistema	Utilizador insatisfeito	Falha Menor	Rever dimensionamento e sistema de transporte e fixação
Preço acessível	Custo elevado	Fabrico demasiado dispendioso Sobre dimensionamento Materiais nobres	Vendas reduzidas	Falha. Crítica	Controlo de custos no desenvolvimento do produto
Longo período útil de utilização	Curto período de vida útil	Defeito no fabrico Materiais de baixa qualidade	Utilizador insatisfeito	Falha Maior	Controlo de qualidade Correto dimensionamento
Ajustável à mota	Ajustamento limitado a um conjunto reduzido de motas	Conceito utilizado limita a utilização universal	Não realiza as funcionalidades	Falha. Crítica	Selecionar conceito que seja aplicável a todo o tipo de motas
Peso leve	Excesso de peso	Má seleção de material e componentes	Dificuldade de transporte	Falha Maior	Rever otimização de produto
Anti queda Mota	Possíveis quedas da mota	Conceito selecionado pouco robusto	Utilizador insatisfeito	Falha. Crítica	Melhoria do conceito para antis quedas
Posição estável em falhas energéticas	Possíveis quedas da mota Risco de segurança para o utilizador	Sistema de segurança ineficiente	Incumprimento com as regras de segurança	Falha. Crítica	Melhoria dos sistemas de segurança

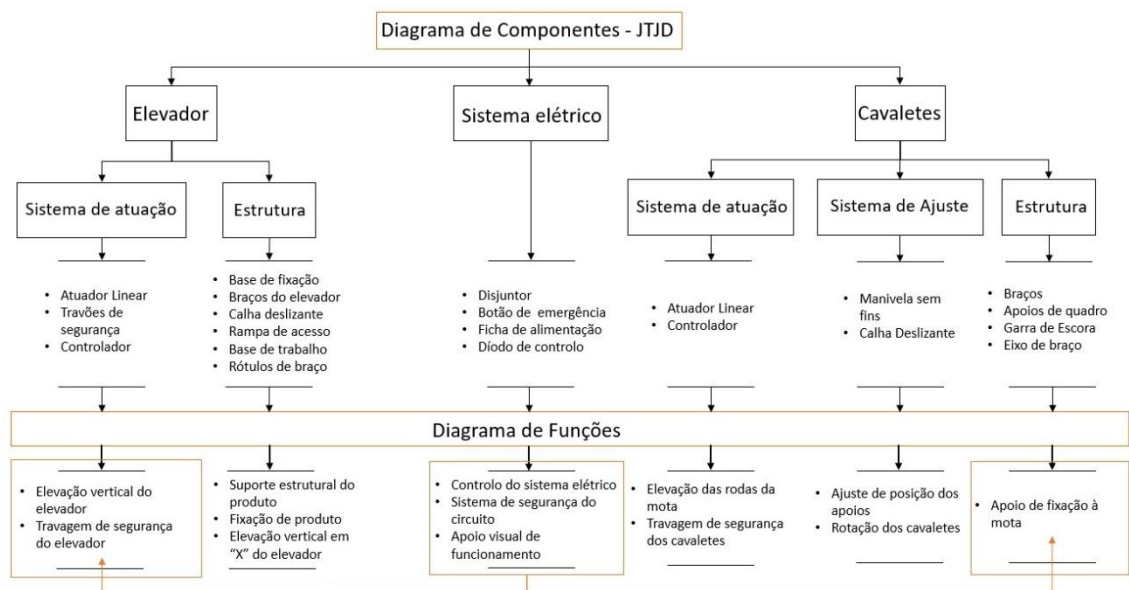


Figura 26 - Correlação entre diagrama de componentes e diagrama de funções.

Tabela 12 - FMEA de produto.

SISTEMA	SUB-SISTEMA	ITEM/FUNÇÃO	TIPO DE FALHA POTENCIAL	POSSÍVEIS EFEITOS DAS FALHAS	SEVERIDADE	CAUSA POTENCIAL DE FALHA	OCORRÊNCIA	DETEÇÃO	RPN	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA
ELEVADOR	SISTEMA DE ATUAÇÃO	TRAVÕES DE SEGURANÇA	FALHA DE TRAVÃO	DESCIDA DO ELEVADOR INDESEJADA SEGURANÇA DE UTILIZADOR EM PERIGO	9	FALHA DO SISTEMA DE SEGURANÇA	2	8	144	UTILIZAR ATUADOR ELÉTRICO COM SISTEMA DE SEGURANÇA INCORPORADO
	ESTRUTURA	BRAÇOS DO ELEVADOR	DEFORMAÇÃO DOS BRAÇOS	REDUÇÃO DO TEMPO ÚTIL DE VIDA DO PRODUTO DESCIDA INDESEJADA DO ELEVADOR	6	MATERIAL DE MÁ QUALIDADE PESO EXCESSIVO DE SUPORTE	1	7	42	REVER MATERIAIS ESCOLHIDOS REVER CARGA MÁXIMA DO PRODUTO
		CALHA DESLIZANTE	CALHA NÃO DESLIZA	FALHA DE ELEVAÇÃO DO ELEVADOR	5	IMPUREZAS NO SISTEMA FALTA DE LUBRIFICAÇÃO	3	1	15	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO COM REGULARIDADE ESCOLHA DE MATERIAL COM RUGOSIDADE MAIS BAIXA
		BASE DE TRABALHO	SUPERFÍCIE ESCORREGADIA	DIFICULDADE DE MANUSEAR A MOTA EM CIMA DO ELEVADOR	3	MATERIAL COM BAIXA RUGOSIDADE	1	3	9	REVER MATERIAL DE SUPERFÍCIE ESCOLHIDO
CAVALETES	SISTEMA DE AJUSTE	MANIVELAS SEM FIM	MANIVELA NÃO RODA	AJUSTE COMPROMETIDO	6	IMPUREZAS NO SISTEMA FALTA DE LUBRIFICAÇÃO	3	1	18	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO COM REGULARIDADE
		VEIO DESLIZANTE	SISTEMA NÃO DESLIZA	FALHA DE AJUSTE DOS CAVALETES	5	IMPUREZAS NO SISTEMA FALTA DE LUBRIFICAÇÃO	3	1	15	CONTROLO DA RUGOSIDADE DO ACABAMENTO DO VEIO
	ESTRUTURA	BRAÇOS DOS CAVALETES	DEFORMAÇÃO DOS BRAÇOS	REDUÇÃO DO TEMPO ÚTIL DE VIDA DO PRODUTO DESCIDA INDESEJADA DO ELEVADOR	6	MATERIAL DE MÁ QUALIDADE PESO EXCESSIVO DE SUPORTE	1	7	42	REVER MATERIAIS ESCOLHIDOS REVER CARGA MÁXIMA DO PRODUTO
		APOIO DE QUADRO	FALHA DE LIGAÇÃO À MOTA	NÃO ELEVA A MOTA	7	DIFICULDADE DE LIGAÇÃO AO APOIO DE QUADRO	1	9	63	REVER DESIGN DE APOIO E SISTEMA ASSOCIADO
		GARRA DE ESCORA	FALHA DE LIGAÇÃO À MOTA	NÃO ELEVA A MOTA	7	DIFICULDADE DE LIGAÇÃO À ESCORA	1	9	63	REVER DESIGN DE APOIO E SISTEMA ASSOCIADO
		EIXO DE BRAÇO	EIXO NÃO RODA	CAVELETES NÃO REBATÍVEIS	4	I FALTA DE LUBRIFICAÇÃO EMPENHO DO EIXO	3	1	12	LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO COM REGULARIDADE REVISÃO DE ESCOLHA DE MATERIAL

ANEXO D - DIMENSIONAMENTO DOS ATUADORES

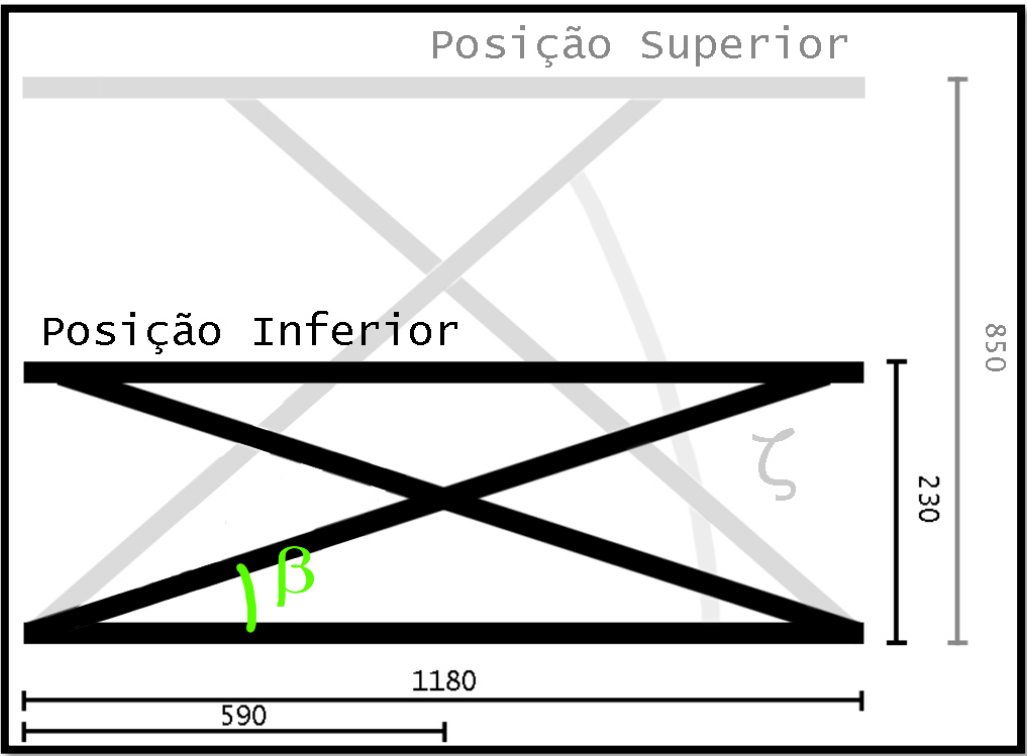


Figura 27 - Posições de elevação e dimensões do elevador.

Tabela 13 - Resumo dimensões de elevador.

PARÂMETROS	UNIDADES	POSIÇÃO INFERIOR	POSIÇÃO SUPERIOR
COMPRIMENTO DE ELEVADOR	mm	1180	
COMPRIMENTO DE BRAÇOS	mm	1200	
ALTURA	mm	230	850
ÂNGULO DE ABERTURA	rad °	0,192 11,000	0,787 45,099

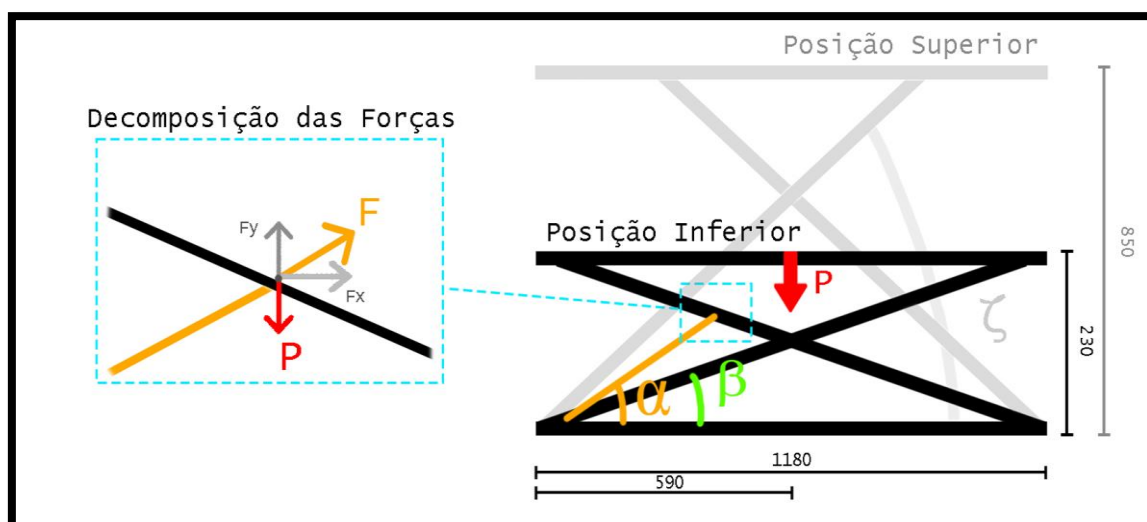


Figura 28 - Decomposição de forças – atuador de elevador.

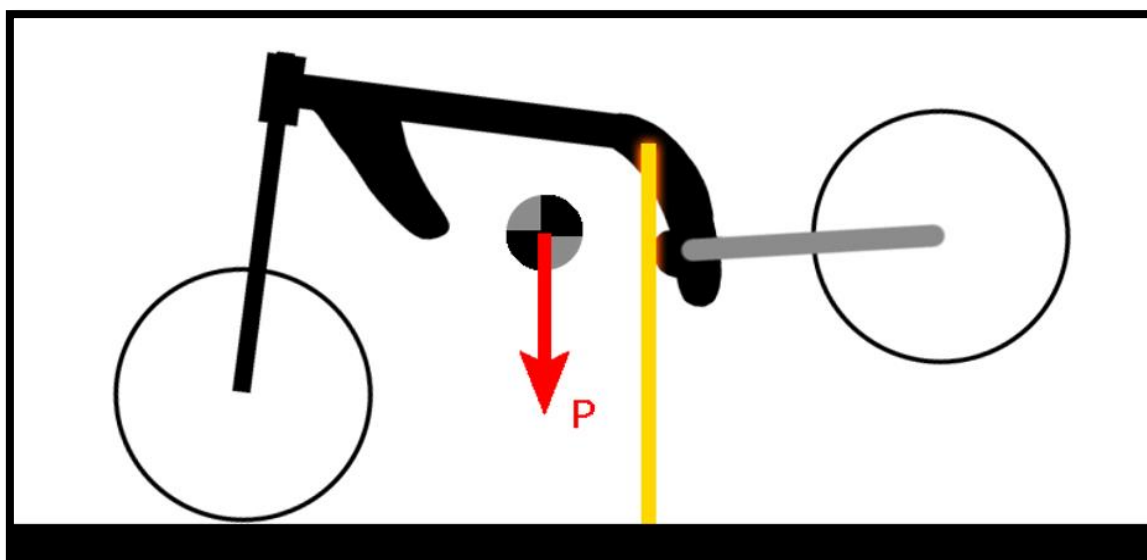


Figura 29 - Decomposição de forças – atuador de quadro.

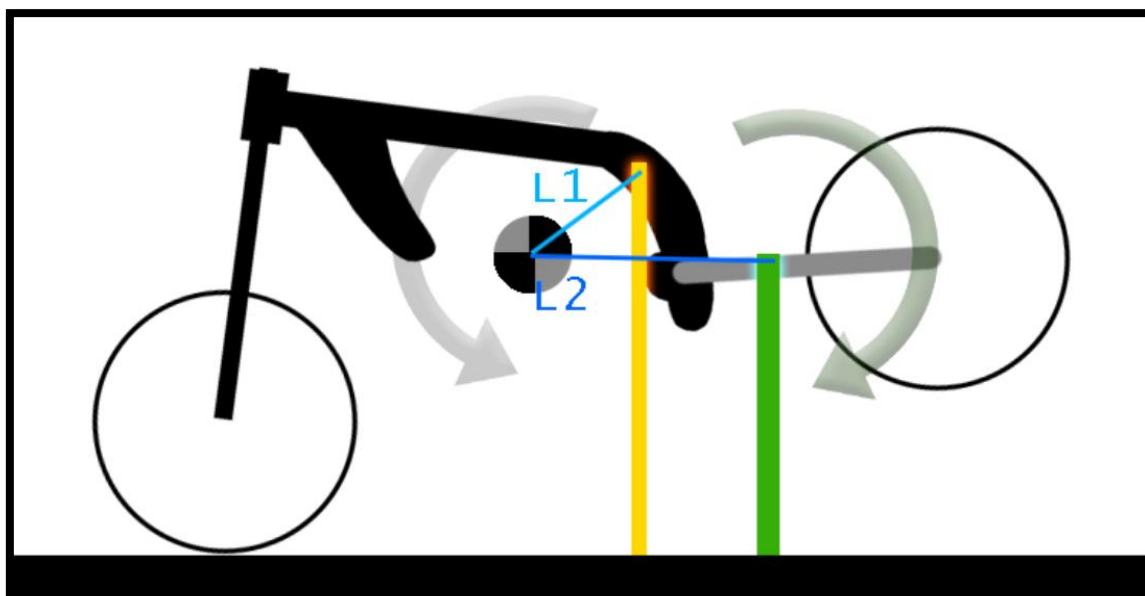


Figura 30 - Decomposição de forças – atuador de apoio de escora.

Tabela 14 - Dimensionamento e características dos atuadores.

ATUADORES		ELEVADOR	ESCORA	QUADRO
UNIDADES	PROPRIEDADES	LA37	LA25	LA25
[N]	Load	15000	2500	2500
[mm/s]	Max Speed	7	25	25
[mm]	Back Fixture	16,20	12,30	12,30
[mm]	Rod Eye	20,00	12,30	12,30
[mm]	InsDim	230	125	125
[mm]	Stroke	100-1000	20-300	20-300

ANEXO E – CAD 1.0

Tabela 15 - Considerações de fabrico iniciais.

SISTEMAS	ELEMENTOS	PROPOSTA DE CONSIDERAÇÕES DE FABRICO	PROPOSTA DE MATERIAL
Elevador	Base de fixação	Tubos normalizados soldados	Aço S355JR
	Suporte de fixação	Soldadura de chapa normalizada	Aço CK45
	Rodas	Normalizado, comprar a fornecedor	-
	Base de trabalho	Corte de chapa normalizada	Chapa de antiderrapante Aço S235JR
	Braços de elevador	Corte de tubos retangulares normalizados	Aço S355JR
	Rolamentos da tesoura	Normalizado, comprar a fornecedor	-
	Calhas deslizantes	Fundição molde + maquinagem de acabamento	Aço CK45
	Rampa de acesso	Fundição	Ferro fundido
	Veio suporte braços do elevador	Torneamento	Aço CK45
	Atuador linear	Normalizado, comprar a fornecedor	-
	Parafuso suporte do atuador nos braços	Normalizado, comprar a fornecedor	-
Cavalete quadro	Chumaceira base do braço	Maquinado	Aço CK45
	Atuador linear	Normalizado, comprar a fornecedor	-
	Parafuso suporte do atuador nos braços	Normalizado, comprar a fornecedor	-
	Rolamento de chumaceira do braço esquerdo	Normalizado, comprar a fornecedor	-
	Braços	Corte de tubos retangulares normalizados	Aço S355JR
	Chumaceira superior de ajuste	Maquinado	Aço CK45
	Veio de cavalete	Torneamento	Aço CK22
	Veio anti rotacional de cavalete	Torneamento	Aço CK45
	Sem fim de ajuste do cavalete	Torneamento	Aço CK45
Cavalete escora	Chumaceira base do braço	Maquinado	Aço CK45
	Atuador linear	Normalizado, comprar a fornecedor	-
	Parafuso suporte do atuador nos braços	Normalizado, comprar a fornecedor	-
	Braços	Corte de tubos retangulares normalizados	Aço S355JR
	Rolamento de chumaceira do braço	Normalizado, comprar a fornecedor	-
	Chumaceira superior de ajuste	Maquinado	Aço CK45
	Veio anti rotacional de cavalete	Torneamento	Aço CK45
	Eixo sem fim de ajuste da garra	Torneamento	Aço CK45
	Base superior da garra	Fundição	Alumínio A3656

	Base inferior da garra	Fundição	Alumínio A3656
	Pino guia	Torneamento	Aço CK45
	Veio de afinação de aperto da garra	Torneamento	Aço CK45

ANEXO F – SIMULAÇÕES E OTIMIZAÇÕES

Tabela 16 – Síntese de componentes a simular.

ELEMENTO	NOME	SISTEMA	FUNÇÃO	JUSTIFICAÇÃO
1	Suporte Inferior de Atuador	Elevador	Suporte estrutural do Atuador	Análise inicial empírica
2	Braços do Elevador	Elevador	Suporte e Funcionalidade do Mecanismo de Elevação	FMEA de Produto
3	Suporte Superior de Atuador	Elevador	Suporte estrutural do Atuador	Análise inicial empírica
4	Base do Chão de Elevador	Elevador	Suporte de Mota e Cavaletes	Análise inicial empírica
5	Ajustadores de Cavaletes	Cavaletes	Ajuste de Largura de Aperto	FMEA de Produto
6	Garra de Escora	Cavaletes	Aperto de Escora de Mota	FMEA de Produto
7	Veios de Suporte dos Braços do Elevador	Elevador	Suportar Todo o Produto	FMEA de Produto
8	Veios de Suporte Cavaletes	Cavaletes	Ligação Cavaletes - Elevador	FMEA de Produto
9	Veios de Suporte de Atuadores	Cavaletes	Suporte de Mota e ajuste de Altura	Análise inicial empírica

COMPONENTE 1

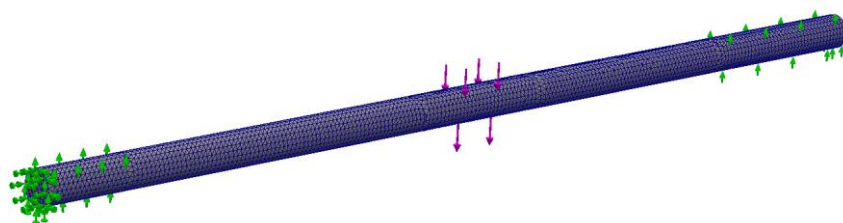


Figura 31 - Condições de fronteira e malha da simulação 1.

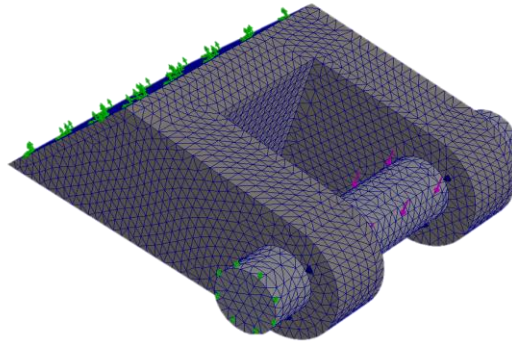


Figura 32 - Condições de Fronteira e Malha para o Componente 1.

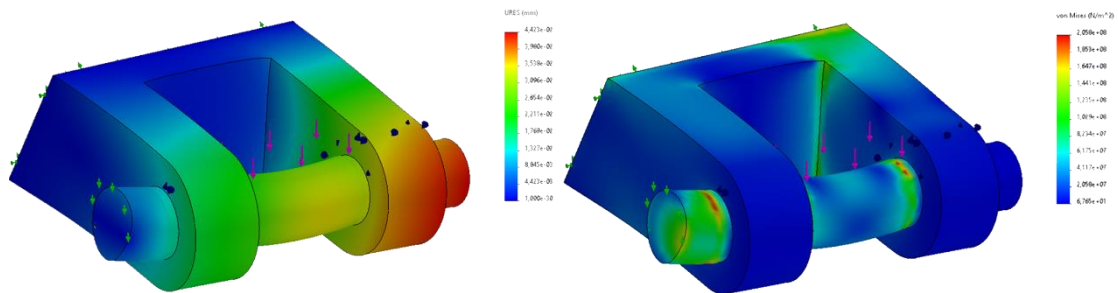


Figura 33 - Resultados da simulação 1, à esquerda deslocamentos e à direita tensões equivalentes de von Mises.

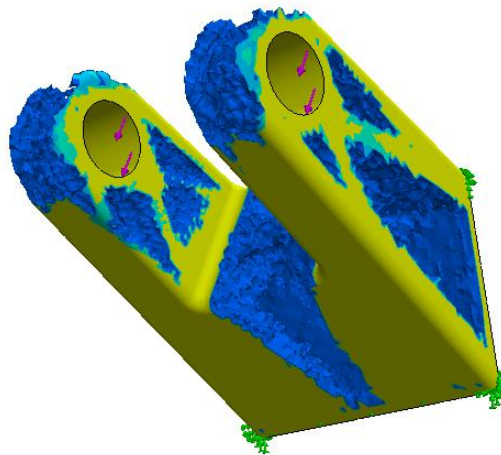


Figura 34 - Resultados da otimização topológica do Suporte Inferior do Atuador.

COMPONENTE 2

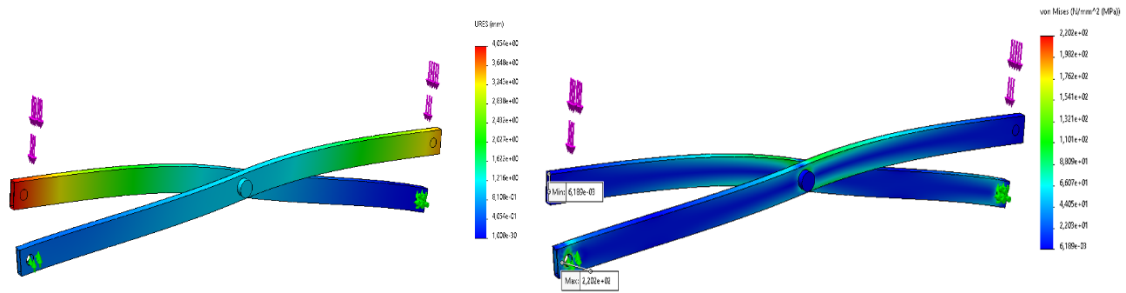


Figura 35 - Resultados da simulação dos Braços do Elevador.

COMPONENTE 3

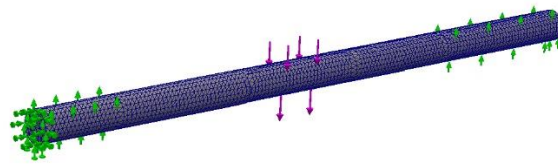


Figura 36 - Condições de fronteira e malha da simulação 3.

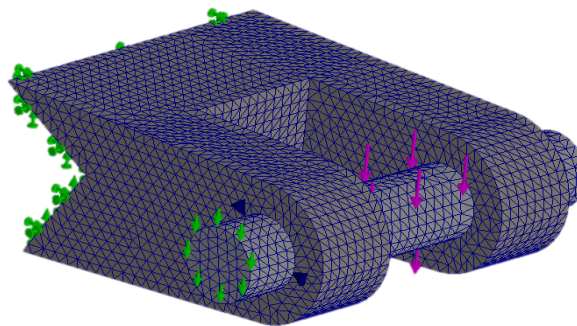


Figura 37 - Condições de Fronteira e Malha para o Componente 3.

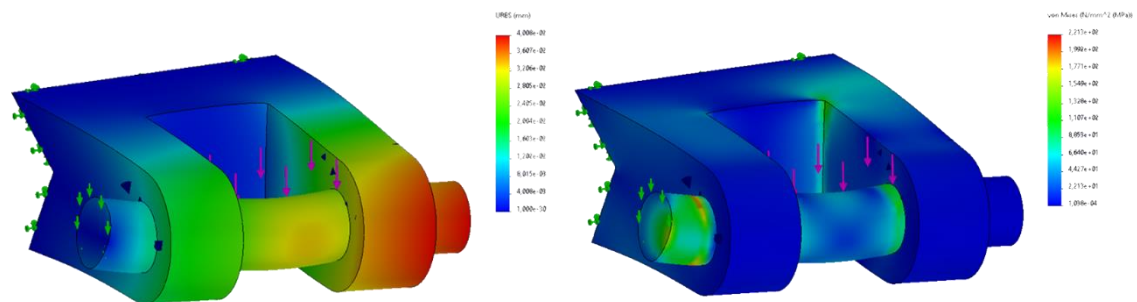


Figura 38 - Resultados da simulação 3, à esquerda deslocamentos e à direita tensões equivalentes de von Mises.

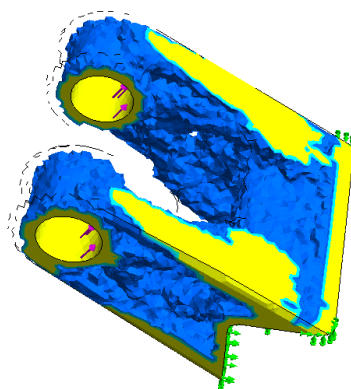


Figura 39 - Resultados da otimização topológica do Suporte Superior do Atuador.

COMPONENTE 4

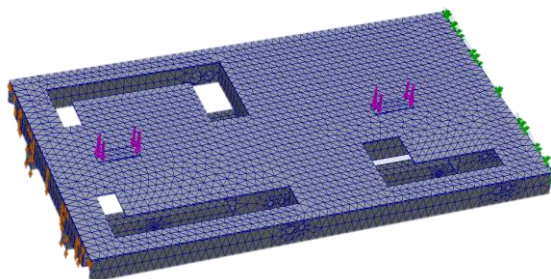


Figura 40 - Condições de fronteira e malha para a simulação 4.

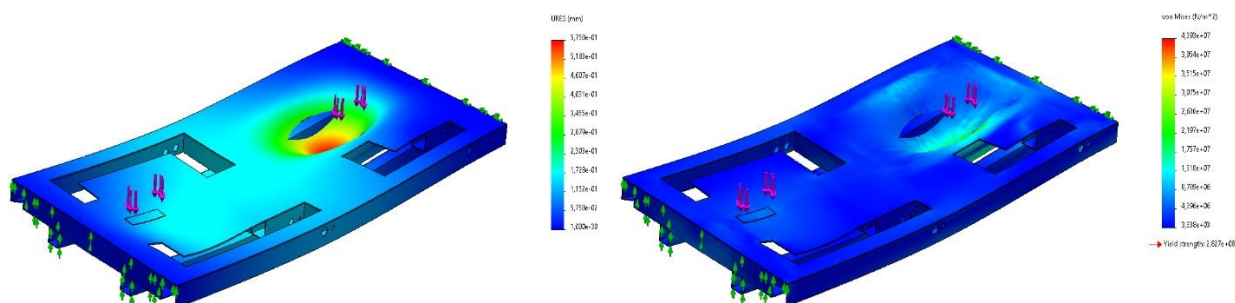


Figura 41 - Resultados da simulação 4, à esquerda deslocamentos e à direita tensões equivalentes de von Mises.

COMPONENTE 5

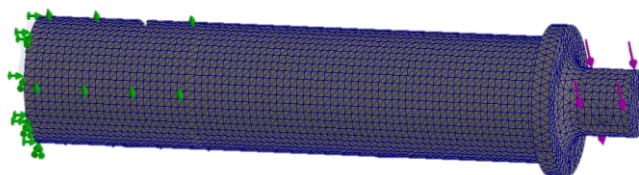


Figura 42 - Condições de fronteira e malha para a simulação 5.

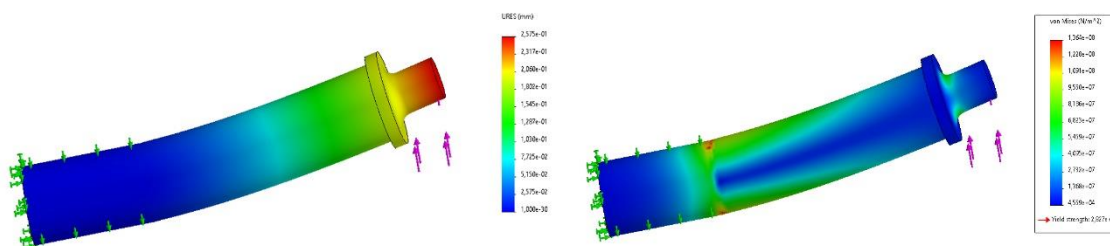


Figura 43 - Resultados da simulação 5, à esquerda deslocamentos e à direita tensões equivalentes de von Mises.

COMPONENTE 6

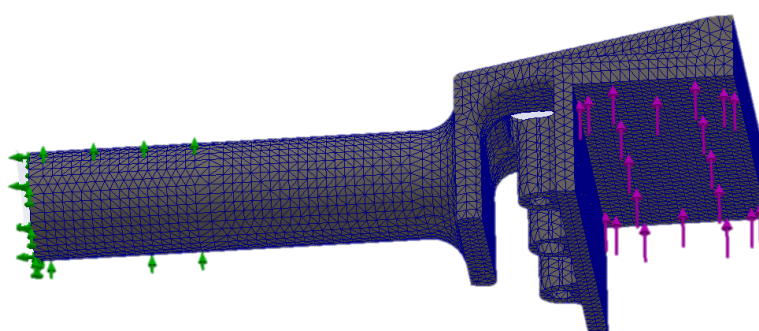


Figura 44 - Condições de fronteira e malha da simulação 6.

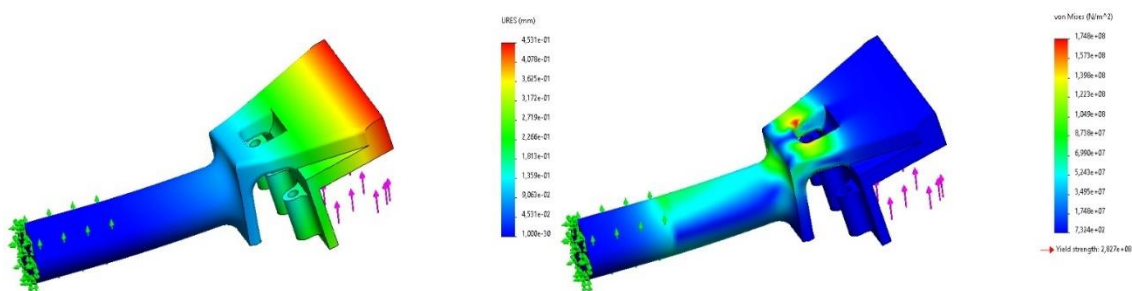


Figura 45 - Resultados da simulação 6, à esquerda deslocamentos e à direita tensões equivalentes de von Mises.

Tabela 17 - Considerações de fabrico finais.

Sistemas	Elementos	QTD	Considerações de fabrico	Designação	Material
Elevador	Base de fixação	4	Tubos normalizados soldados	Tubo 80x80x3	Aço S355JR
	Suporte de fixação ao Chão	4	Soldadura de chapa	Chapa Laminada a quente 10mm	Aço CK45
	Base de trabalho	1	Corte de chapa normalizada	Chapa de antiderrapante 2000x1000x3	Aço S235JR
	Braços de elevador	4	Corte de tubos retangulares normalizados	Tubo 50x20x3	Aço S355JR
	Parafusos Braços elevador	2	Normalizado	M16x80 ISO7411	Aço 8,8
	Porca Braços elevador	3	Normalizado	M16 ISO4032	Aço 8,8
	Veios Tesoura	4	Torneamento tubo de aço	-	Aço CK45
	Chumaceira	2	Normalizado	SKF F2B 20M WF	-
	Rolamentos da tesoura deslizante	6	Normalizado	Rolamento 7204 BECBP	-
	Calhas deslizantes Inferiores	2	Fundição molde + maquinagem de acabamento	-	Aço CK45
	Calhas deslizantes Superiores	2	Calha em U normalizada/Maquinagem Superfície	Perfil UPN 65	Aço sS275JR+AR
	Rampa de acesso	1	Estampagem e soldadura de Chapa Aço	Chapa Galvanizada 3mm	Aço S235JR
	Orelha Suporte Atuador Superior	1	Maquinagem	-	Aço CK45
	Orelha Suporte Atuador Inferior	1	Maquinagem	-	Aço CK45
	Atuador linear	1	Normalizado	Linak LA37	-
	Parafuso suporte do atuador	2	Normalizado	M16x90 ISO7412	Aço 8,8
	Porca suporte do atuador	2	Normalizado	M16 ISO4032	Aço 8,8
	Anilha Plana suporte do atuador	2	Normalizado	M16 ISO7089	Aço 8,8
Cavelete quadro	Chumaceira do braço do Cavelete	2	Maquinado	-	Aço CK45
	Atuador linear	2	Normalizado	Linak LA25	-
	Veio suporte do atuador nos braços	4	Maquinado/Torneamento	-	Aço CK45
	Porca suporte do atuador	4	Normalizado	M10 ISO4032	Aço 8,8
	Anilha Plana suporte do atuador	4	Normalizado	M10 ISO7089	Aço 8,8
	Braços	2	Corte de tubos retangulares normalizados	Tubo 120x65x3 e Tubo 100x50x3	Aço S355JR
	Rolamento de chumaceira do braço esquerdo	1	Normalizado	SKF 6305	-
	Chumaceira superior de ajuste	2	Maquinado	-	Aço CK45
	Veio de ajuste e ligação ao quadro	2	Torneamento	-	Aço CK22
	Veio anti rotacional de cavelete	2	Torneamento	-	Aço CK22

	Sem fim de ajuste do cavalete	1	Torneamento	-	Aço CK22
Cavalete escora	Chumaceira do braço do Cavalete	1	Maquinado	-	Aço CK45
	Atuador linear	1	Normalizado	Linak LA25	-
	Veio suporte do atuador nos braços	2	Maquinado/Torneamento	-	Aço CK45
	Porca suporte do atuador	2	Normalizado	M10 ISO4032	Aço 8,8
	Anilha Plana suporte do atuador	2	Normalizado	M10 ISO7089	Aço 8,8
	Braços	1	Corte de tubos retangulares normalizados	Tubo 120x65x3 e Tubo 100x50x3	Aço S355JR
	Rolamento de chumaceira inferior do braço	1	Normalizado	SKF 6305	-
	Chumaceira superior de ajuste	1	Maquinado	-	Aço CK22
	Veio anti rotacional de cavalete	2	Torneamento	-	Aço CK22
	Eixo sem fim de ajuste da garra	1	Torneamento	-	Aço CK22
	Base superior da garra	1	Maquinado	-	Aço CK22
	Base inferior da garra	1	Maquinado	-	Aço CK22
	Pino guia	2	Torneamento	-	Aço CK45
	Veio de afinação de aperto da garra	1	Torneamento	-	Aço CK22

ANEXO G – MODELO DE NEGÓCIOS

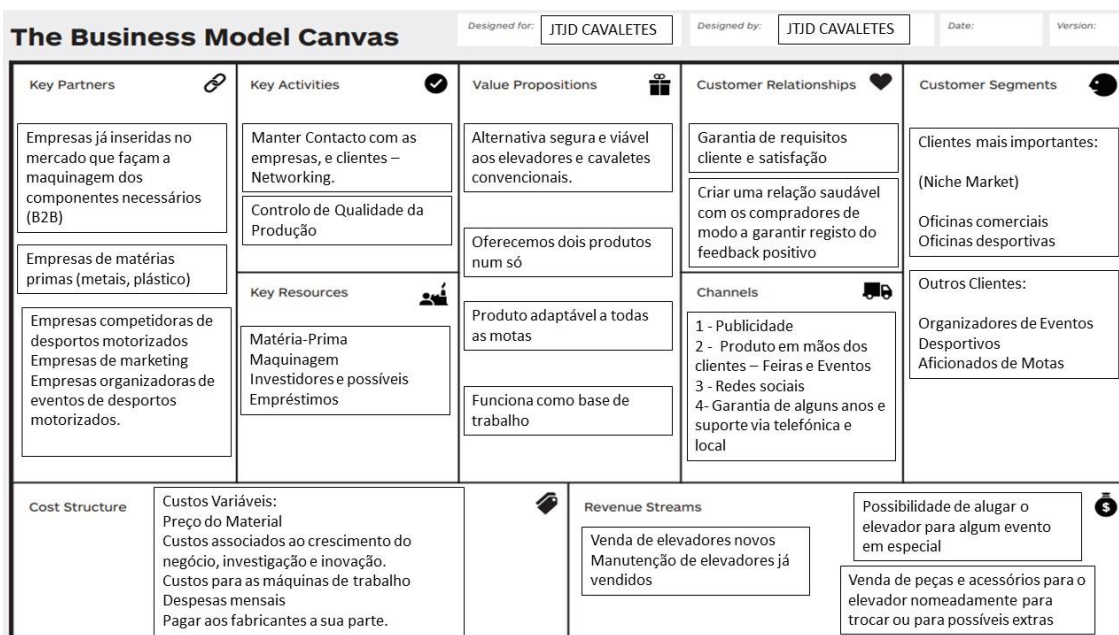


Figura 46 - Modelo de negócio de projeto.