



Projeto

Mestrado em Engenharia de Conceção e Desenvolvimento de Produto

***Conceção e Desenvolvimento de Caixa de relógio em
Dióxido de Zircónio***

Tiago Emanuel Inez Bárbara

Leiria, *Março, 2019*



Projeto

Mestrado em Engenharia de Conceção e Desenvolvimento de Produto

***Conceção e Desenvolvimento de Caixa de Relógio em
Dióxido de Zircónio***

Tiago Emanuel Inez Bárbara

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Carlos Alexandre Bento Capela, Diretor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do Doutor Marcelo Rudolfo Calvete Gaspar, Professor na Escola Superior de Tecnologia e Gestão no Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Março, 2019*

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Dedicatória

Gostaria de dedicar este trabalho à Filipa Lourenço, que me ajuda a superar e melhorar todos os dias.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Agradecimentos

Quero agradecer ao Doutor Carlos Capela, Professor Coordenador na Escola Superior de Tecnologia e Gestão no Instituto Politécnico de Leiria por toda a ajuda prestada quando quis desenvolver um projeto pessoal e ao Doutor Marcelo Rudolfo Calvete Gaspar, Professor na Escola Superior de Tecnologia e Gestão no Instituto Politécnico de Leiria, incansável no seu apoio para que eu conseguisse produzir o melhor trabalho cumprindo o prazo delineado

Deixo ainda um agradecimento ao Sr. Machado, da Machado & Silveira, Lda. que permitiu que executasse os provetes nas oficinas da sua empresa.

Quero também agradecer aos meus pais, Ana Paula Inez e Carlos Bárbara, que sempre me educaram buscando novas metas e novos patamares. O apoio que me deram ao crescer foi essencial para ter a coragem de procurar e lutar pelo meu lugar.

Mas a minha fundação é a minha cara-metade, Filipa Lourenço. Por todo o tempo que passou para que tivesse as melhores condições para desenvolver este projeto.

E finalmente, um agradecimento ao meu antigo patrão, Michael Wilson. Ele trouxe o desenvolvimento e o fabrico de relógios para a minha vida, e agora é altura de seguir o meu próprio caminho.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Resumo

Estudo de projeto para desenvolvimento de um relógio de pulso recorrendo a materiais de última geração que melhorem o valor e apelo do produto face ao padrão utilizado na indústria, o aço inoxidável AISI 316L.

Várias técnicas e metodologias de diferentes campos foram usadas para criar e desenvolver um produto que atenda às condições impostas, que tenha colocação no mercado e os méritos de um produto viável.

Foi estudado o mercado recorrendo a questionários, entrevistas e revisão bibliográfica para identificar os requerimentos do projeto e gerar as especificações do produto.

Durante a fase de Design, geraram-se vários conceitos recorrendo a um mapa de conceitos que foram posteriormente desenvolvidos, culminando em dois conceitos finais, testados recorrendo a técnicas de prototipagem virtual e física.

Posteriormente, procurou-se otimizar o projeto avaliando os protótipos semi-funcionais gerados, identificando as áreas a ser melhoradas e desenvolvendo soluções que dessem resposta às melhorias propostas.

Por fim validou-se o projeto utilizando uma ferramenta de Desenvolvimento da Função Qualidade e comparando as características e especificações do produto gerado contra os principais concorrentes em relação aos requerimentos do consumidor.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto, é uma variante do Design for Six Sigma, composta pelas fases Identificação, Design, Otimização e Verificação.

Palavras chave: (Engenharia, relógio, materiais, alternativos, propriedades mecânicas, design)

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

Design study to develop a wristwatch using state-of-the-art materials that improve the value and appeal of the product against the standard used in the industry, AISI 316L stainless steel.

Several techniques and methodologies from different fields have been used to create and develop a product that meets the conditions imposed, which has a marketability and the merits of a viable product.

The market was studied using questionnaires, interviews and bibliographic review to identify project requirements and generate product specifications.

During the Design phase, several concepts were generated using a concept map that were later developed, culminating in two final concepts, tested using virtual and physical prototyping techniques.

Subsequently, we tried to optimize the project by evaluating the semi-functional prototypes generated, identifying the areas to be improved and developing solutions that would respond to the proposed improvements.

Finally, the project was validated using a Quality Function Development tool and comparing the characteristics and specifications of the product generated against the main competitors in relation to the requirements of the consumer.

The methodology used for the development of the project is a variant of Design for Six Sigma, composed by the phases Identification, Design, Optimization and Verification.

Keywords: (Engineering, Watch, Alternative (...) materials, Mechanical properties, Design, Research)

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de figuras

Figura 1 – Rolex Millgauss, exemplo de caixa redonda [8]	12
Figura 2 – Tag Heuer Mónaco, exemplo de caixa quadrada [9]	12
Figura 3 – Audemars Piguet Millenary, exemplo de caixa oval [10].....	12
Figura 4 – Audemars Piguet Royal Oak, exemplo de caixa octogonal [11]	12
Figura 5 – Grand Seiko SBGA109, exemplo de suportes de bracelete curvos [13].....	13
Figura 6 – Dievas Vortex, exemplo de suportes de bracelete angulados [14].....	13
Figura 7 – Zelos Chroma, exemplo de relógio sem suportes de bracelete [15]	13
Figura 8 – Casio G-Shock Frogman, exemplo de relógio assimétrico [12]	13
Figura 9 – Nomos Tangente, exemplo de suportes de bracelete a direito [16]	14
Figura 10 - Rolex Submariner, exemplo de aro rotativo com escalas [17]	14
Figura 11 – Mostrador tipo sandwich, Panerai Luminor Marina [18].....	14
Figura 12 – Diferentes estilos de ponteiros de relógio [19]	15
Figura 13 – Piaget Altiplano, exemplo de mostrador tipo esqueleto [20].....	15
Figura 14 - Exemplo do processo de torneamento e fresagem [40], [41]	20
Figura 15 – Exemplo que maquinação por roda abrasiva [44].....	21
Figura 16 – Exemplo de forjamento a quente em molde fechado [49]	22
Figura 17 - Estereolitografia: (1) a camada inicial de resina curada por laser; e (2) a peça começa a ganhar forma após várias camadas curadas [51].	23
Figura 18 – Exemplo de peça fabricada por SLA [53].....	24
Figura 19 – Processo de Sinterização por Laser Seletiva [54].	24
Figura 20 – Exemplo de peça fabricada por SLS [53].	25
Figura 21 – Processo de Modelagem Deposição Fundida [58].....	26
Figura 22 – Exemplo de peça produzida por FDM [53].	26
Figura 23 – Processo de modelagem por laminação (LOM)[59]	27
Figura 24 – Exemplo de peças em fibra de carbono produzidas por LOM [60].....	28
Figura 25 – Processo de Impressão 3D (3DP) [59]	29
Figura 26 – Exemplo de peça fabricada por 3DP em carbono [61]	29
Figura 27 – Processo de fabrico por Fusão por Feixe de Eletrões (EBM) [59]	30
Figura 28 – Exemplos de peças em Ti64Al4V produzidas por EBM, antes e depois de maquinação [64]	30
Figura 29 – Processo de fabricação por DLP [68].....	31

Figura 30 – Exemplo de peça produzida por DLP [66]	32
Figura 31 – Processo de deposição de vapor físico (PVD) [69]	33
Figura 32- Microdureza de AISI 316L virgem e implantado com iões de Nitrogénio e Árgon [80].	37
Figura 33- Gráfico de Stress-Tensão para o AISI 316L [82].....	38
Figura 34 – Braços de suspensão do Lamborghini Sesto Elemento em Forged Composite® [26]	40
Figura 35 – Processo de indentação em folha de CFRP [87].....	40
Figura 36 – Provette montado em Zwick Z100.....	43
Figura 37 – Pormenor da deformação do provete em Zwick Z100	43
Figura 38 – Máquina de testes DMA Tritec 2000 DMA	44
Figura 39- Exportação anual de relógios de pulso por país, em milhares de milhão de dólares US [93].	46
Figura 40- Consumidores por faixas etárias.....	47
Figura 41- Dispersão geográfica dos consumidores	48
Figura 42-Probabilidade de comprar face ao preço	49
Figura 43 – Complicações que o cliente-tipo já possui.....	50
Figura 44 - Complicações desejadas pelo cliente-tipo, mas que não possui.....	50
Figura 45- Estilos de relógios mais desejados pelo cliente-tipo	51
Figura 46 – Tamanho de caixa mais desejado pelo cliente-tipo	51
Figura 47 – Características mais importantes para o cliente-tipo	52
Figura 48 – Preferência de estilo de bracelete tendo em conta o aspeto estético.....	52
Figura 49 - Preferência de estilo de bracelete tendo em conta o conforto	53
Figura 50 – Preferência do mecanismo tendo em conta o país de origem	53
Figura 51 – Mapa conceptual de ideias propostas após revisão bibliográfica–	56
Figura 52 – Esboços do primeiro conceito.....	58
Figura 53 – Sketches para um conceito inspirado nos anos 70.....	59
Figura 54 - Esboço inicial do design para o mostrador.....	59
Figura 55 – Gráfico de tensão/deslocamento dos provetes de AISI 316L obtido no teste de flexão em 3 pontos	64
Figura 56 – Gráfico de variação do módulo de memória em função da temperatura dos provetes de AISI 316L obtido no teste DMA	65
Figura 57 – Vista em secção do primeiro projeto de conceito inicial	66
Figura 58 – Exemplo do encaixe rápido considerado para o relógio a desenvolver [96] ...	67

Figura 59 – Vista em seção da caixa de relógio com furos em angulo	68
Figura 60 - Vista em seção da caixa de relógio com furo ponta a ponta.....	68
Figura 61 - Modelo 3D do primeiro projeto de conceito inicial.....	69
Figura 62 – Renderização fotorealística do primeiro projeto de conceito inicial.....	70
Figura 63 - Vista em secção do segundo projeto de conceito inicial	71
Figura 64 – Modelo 3D do segundo projeto de conceito inicial	71
Figura 65 – Renderização fotorealística 3D do segundo projeto de conceito inicial	72
Figura 66 – Processo de Direct Light Projection [68]	73
Figura 67 – Os dois protótipos com conceitos distintos.....	73
Figura 68 – Vista lateral dos dois protótipos e suas características geométricas	74

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Lista de tabelas

Tabela 1 – Categorias de Design for X (adaptado) [7].....	7
Tabela 2 – Processos típicos do ciclo de vida de um processo/produto. Ciclos do processo de desenvolvimento são as fases 1-4. [3]	9
Tabela 3 – Tabela comparativa de sistemas CAD existentes com e sem integração na nuvem [39].	18
Tabela 4 - Composição química do aço inoxidável AISI 316L [78].....	37
Tabela 5 - Resultados de testes de impacto Charpy e Izod em provetes AISI 316L [79]...	38
Tabela 6 – Tabela-síntese das propriedades avaliadas para o AISI 316L	39
Tabela 7 – Propriedades de alumio e materiais compósitos [26]	41
Tabela 8 – Resultados do teste Izod [86].....	41
Tabela 9 – Tabela-síntese das propriedades avaliadas para o Forged Carbon®	41
Tabela 10 – Tabela-síntese das propriedades avaliadas para a Zirconia	42
Tabela 11 - Idade versus Orçamento	48
Tabela 12 - Avaliação numérica da probabilidade de compra	49
Tabela 13 - Avaliação dos diferentes estilos de relógio	51
Tabela 14 - Avaliação do desejo referente ao tamanho da caixa do relógio	51
Tabela 15 – Avaliação das características mais importantes para o cliente-tipo.....	52
Tabela 16 – Avaliação do desejo do cliente-tipo tendo em conta o país de origem do mecanismo	53
Tabela 17 – Tabela de propriedades para o AISI 316L, Forged Composite® e YTZP	60
Tabela 18 – Análise SWOT do AISI 316L como material para caixa de relógio	61
Tabela 19 - Análise SWOT do Forged Composite® como material para caixa de relógio	61
Tabela 20 - Análise SWOT do YTZP como material para caixa de relógio	62
Tabela 21 - Tabela de resultados do teste de flexão em 3 pontos, Carga máxima (P), Tensão máxima (σ_{max}), Elongamento à tensão máxima (ϵ), Módulo de Young (E) e R^2	64
Tabela 22 – Tabela de resultados do módulo elástico em relação á temperatura.....	65
Tabela 23 – Análise do custo de fabrico.....	76

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Lista de acrónimos

- 3DP – 3D Printing (Impressão 3D)
- CAD – Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
- CAPP – Computer Aided Process Planning (Planeamento de Processo Assistido por Computador)
- CFRP – Plásticos reforçados com Fibra de Carbono
- DLP – Direct Light Processing (Projeção de Luz Direta)
- DMA – Dynamic mechanical Analysis (Análise Mecânica Dinâmica)
- EBM – Electron Beam Melting (Fusão por Feixe de Eletrões)
- FDM – Fused Deposition Modeling (Modelação por Deposição de Material Fundido)
- LOM – Laminated Object Modeling (Construção de Objetos por Lâminas)
- MOQ – Minimum Order Quantity (Quantidade Mínima de Encomenda)
- PVD – Physical Vapor Deposition (Deposição Física em Fase de Vapor)
- QFD – Quality Function Deployment (Desenvolvimento da Função Qualidade)
- SLA - Estereolitografia
- SLS - Sinterização Seletiva por Laser
- SWOT – Strengths Weaknesses Opportunities Threats (Forças, Fraquezas, Oportunidades, Ameaças)
- UV – (Luz) Ultravioleta
- YTZP – Zirconia estabilizada com Ytria

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XV
LISTA DE ACRÓNIMOS	XVII
ÍNDICE	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Estrutura do texto da dissertação	1
1.3. Objetivos	2
2. ESTADO DE ARTE	5
2.1. Introdução/Enquadramento	5
2.2. Desenvolvimento de novos produtos	5
2.2.1. Filosofia/Etapas de desenvolvimento	6
2.2.2. Design for X	7
2.2.3. Design for Six Sigma	8
2.3. Estado da Arte em Relógios de Pulso	10
2.3.1. Mecanismos	10
2.3.2. Estética e Geometria	11
2.3.3. Proteção	15
2.3.4. Materiais	16
2.4. Processos/Tecnologias	17
2.4.1. Modelação/Prototipagem Virtual	17
2.4.2. Fabrico Subtrativo/Convencional	19
2.4.2.1. Maquinação por corte de apara	19
2.4.2.2. Maquinação por abrasão	21
2.4.2.3. Forjamento	22
2.4.3. Métodos de Fabricação Aditiva	23
2.4.3.1. Estereolitografia (SLA)	23
2.4.3.2. Sinterização Laser Seletiva (SLS)	24
2.4.3.3. Modelagem por Deposição Fundida (FDM)	25
2.4.3.4. Modelação de Objetos por Laminação (LOM)	27

2.4.3.5.	Impressão 3D (3DP)	28
2.4.3.6.	Fusão por Feixe de Eletrões (EBM)	30
2.4.3.7.	Projeção Direta de Luz (DLP)	31
2.4.4.	Physical Vapor Deposition – PVD	32
2.4.5.	Técnicas de Processamento de Cerâmicos	33
2.5.	Questão da Investigação	34
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1.	Introdução e Enquadramento	35
3.2.	Identificação das Necessidades	35
3.3.	Metodologias e Ensaio Laboratoriais	36
3.3.1.	Descrição de materiais	36
3.3.1.1.	AISI 316L	36
3.3.1.2.	Forged Composite®	39
3.3.1.3.	Zirconia	42
3.3.2.	Ensaio experimentais	42
4.	ANÁLISE DE RESULTADOS E DESIGN	45
4.1.	Introdução e Enquadramento	45
4.2.	Estudo de Benchmarking	46
4.3.	Necessidades dos Clientes	47
4.3.1.	Cliente-tipo	47
4.3.2.	Faixa de preço	49
4.3.3.	Características do produto	50
4.4.	Especificação de Projetos	54
4.5.	Geração de Conceitos	55
4.6.	Seleção de Conceitos	60
4.7.	Teste de Conceitos	63
4.8.	Arquitetura do Produto	66
4.9.	Design for Manufacturing	67
4.10.	Prototipagem	69
4.10.1.	Prototipagem Virtual	69
4.10.2.	Prototipagem de modelos de teste	72
4.11.	Otimização	74
4.12.	Verificação	75
4.13.	Trabalhos Futuros	76
5.	CONCLUSÃO	79
5.1.	Introdução	79
5.2.	Considerações	79
5.3.	Limitações e trabalhos futuros	80

BIBLIOGRAFIA	83
ANEXOS	93
Anexo 1 – Questionário para estudo de mercado	93
Anexo 2 – Quality Function Deployment	99

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O autor propõe o estudo necessário para desenvolvimento de um novo relógio de pulso em material exótico que responda às necessidades do mercado.

É feito um trabalho de pesquisa onde se procura obter a informação sobre os materiais geralmente utilizados em relógios e os materiais que o autor considera para construção deste novo produto, bem como o estado da arte dos métodos de fabrico utilizados no fabrico de relógios ou técnicas de processamento dos materiais considerados para garantir que os objetivos a que o autor se propõe são atingidos.

Técnicas de prototipagem, física e virtual, são estudadas e posteriormente aplicadas para validação de conceitos.

No decorrer do trabalho, o autor espera adquirir mais conhecimentos sobre os materiais para a construção de relógios e sobre as técnicas de fabricação utilizadas que possam contribuir para o desenvolvimento de não apenas este, mas também de projetos futuros a que o autor se proponha.

Ao longo do trabalho desenvolvido, o autor propõe desenvolver um protótipo semi-funcional do conceito desenvolvido ao longo do trabalho e subsequente validação do mesmo.

1.2. Estrutura do texto da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco secções abaixo apresentadas:

No primeiro capítulo realiza-se um enquadramento do estudo que se propõe levar a cabo, seguido do enquadramento no âmbito do Mestrado em Engenharia de Conceção e Desenvolvimento de Produto. Aponta-se ainda a motivação para a realização deste trabalho, assim como para os resultados expectáveis com a sua conclusão. Por fim, termina-se este subcapítulo com a síntese da estrutura do texto da dissertação e a definição dos objetivos do presente estudo.

No segundo capítulo será feita uma revisão bibliográfica ao estado da arte dos relógios de pulso, olhando aos mecanismos, materiais utilizados na construção de relógios de pulso e

tratamentos de superfície utilizados. As técnicas de fabricação que sejam utilizadas na construção de relógios de pulso serão revistas. Também será alvo de revisão bibliográfica vários métodos de fabricação aditiva, com o intuito de criar um protótipo do relógio.

Já o terceiro capítulo será dedicado á análise das metodologias e dos processos utilizados. Serão descritas as metodologias utilizadas na recolha de dados, o procedimento experimental dos ensaios de materiais levados a cabo bem como a metodologia aplicada ao desenvolvimento do design final, estético e mecânico.

O quarto capítulo é composto pela apresentação e discussão dos resultados obtidos através da análise dos dados gerados e validade dos mesmos. Discutir-se-ão os resultados da pesquisa de mercado, da revisão bibliográfica dos materiais e comparar-se-á a sua validade com os ensaios experimentais realizados. Será avaliado o resultado do design final e protótipos fabricados em relação aos dados obtidos no estudo de mercado.

Por fim, o último capítulo da dissertação é dedicado á discussão dos resultados obtidos durante a pesquisa levada a cabo ao longo deste trabalho. Serão apresentadas quaisquer considerações que o autor considere relevantes e também será proposto um plano de trabalhos futuros com vista ao continuo desenvolvimento do tema de estudo.

1.3. Objetivos

O trabalho proposto visa desenhar e desenvolver um relógio executado num material exótico, que deve comunicar ao desejo do novo mercado global, impulsionado pela rápida troca de informações e facilidade de compra, associado á venda on-line e ao crowdsourcing.

O autor propõe desenvolver um relógio de pulso em material exótico após verificar por revisão bibliográfica e experiência pessoal que existe um gap no mercado para este tipo de produto nas gamas de entrada de relógios de luxo.

Por ter intenção de criar uma empresa de desenvolvimento e fabrico de relógios, bem como colocar no mercado um novo relógio de pulso, o autor decide estudar o desenvolvimento do caso específico de um relógio em material exótico.

Os objetivos a que se propõe são a identificação do mercado, dos materiais e tecnologias possíveis para o desenvolvimento de um relógio, geração de ideias, conceitos e protótipos físicos e virtuais.

Os campos de investigação abordados são pesquisa de mercado, tecnologias de fabrico aditivo e subtrativo utilizado na fabricação de relógios, estudo de materiais e tecnologias de manipulação dos mesmos.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

2. Estado de Arte

2.1. Introdução/Enquadramento

Serve o presente capítulo para expor e descrever o estado da arte relativo às áreas de interesse para o desenvolvimento de um novo produto, nomeadamente um relógio de pulso fabricado a partir de materiais alternativos aos que se encontram atualmente disponíveis no mercado.

Neste sentido, são apresentadas as metodologias existentes para a conceção e desenvolvimento de novos produtos, incluindo as etapas de desenvolvimento convencionais, a abordagem de gestão multidimensional de projeto de produtos complexos (Design for X) e uma abordagem Lean de projeto designada por: Design for Six Sigma.

É também recorrido o estado da arte relativamente ao produto a desenvolver: um relógio de pulso. Nesse ponto, o enfoque é colocado principalmente nas áreas estética e funcional, nomeadamente o mecanismo do relógio e os materiais previstos para o fabrico da caixa, descrevendo-se ainda as principais características estéticas utilizadas atualmente nas caixas de relógios de pulso comercializados no mercado.

Por fim, caracteriza-se o estado das tecnologias utilizadas na prototipagem e no fabrico dos materiais considerados no âmbito deste projeto. Ao nível de prototipagem é revisto o estado de arte relativo aos métodos de fabrico aditivo e da modelação 3D assistida por computador (3D CAD). Os métodos de fabricação expostos neste capítulo incidem sobre as técnicas de processamento de materiais metálicos, materiais compósitos e de materiais cerâmicos.

2.2. Desenvolvimento de novos produtos

O autor aborda neste subcapítulo diferentes metodologias para o desenvolvimento de novos produtos. São descritas as diferentes etapas de desenvolvimento de um novo produto com base em distintas abordagens complementares: os processos convencionais de desenvolvimento de novos produtos, abordagem de gestão multidimensional de projeto de produtos complexos (Design for X) e uma abordagem Lean de projeto, o Design for Six Sigma.

2.2.1. Filosofia/Etapas de desenvolvimento

Tradicionalmente o processo de desenvolvimento de um novo produto segue uma ordem que pode ser caracterizada de acordo com a seguinte sequência de eventos [1]:

- Fase 0 – Impulso/Idealização

Esta fase pode ser promovida por uma variedade de fatores, como o desenvolvimento de nova tecnologia, novas ideias recorrendo a tecnologia existente, a necessidade de atualizar um produto ou a identificação de uma nova ideia de negócios através de um estudo de mercado.

- Fase 1 – Identificação das necessidades do cliente e do negócio/produto

Pretende-se nesta fase estudar quais os requerimentos do consumidor-alvo de forma a garantir que o produto desenvolvido tenha os méritos necessários para ter sucesso no mercado. São também efetuados estudos de viabilidade, que procuram garantir que a relação custo/qualidade é competitiva para que o produto desenvolvido tenha sucesso.

- Fase 2 – Desenvolvimento de conceito

Na segunda fase, tipicamente, traduz-se as necessidades e características identificadas num conceito geral. Caracteriza-se o produto e definem-se as especificações para cumprir os requisitos funcionais. Nesta fase é também definido o conceito final e inicia-se o processo de modelação ou desenho em papel, incluindo a arquitetura do produto.

- Fase 3 – Prototipagem

O objetivo da fase de prototipagem é a validação do conceito através da geração de protótipos físicos ou virtuais e verificação do cumprimento dos requisitos funcionais. Deve-se desenvolver um modelo detalhado até ao mais baixo nível com a correta implementação de funções.

- Fase 4 – Preparação do processo de fabricação/Lançamento do produto

Durante a quarta fase, deve-se finalizar o desenvolvimento do processo de fabricação, testar o processo de fabrico, otimizar o mesmo e posteriormente proceder á sua validação.

- Fase 5 – Produção

Durante a produção, é feito o controlo de operações e gestão de fornecedores e componentes.

Esta metodologia apresenta várias vantagens, entre elas a possibilidade de se utilizar a passagem entre diferentes fases como pontos de verificação de qualidade do produto, como portões onde o produto tem de cumprir com um grupo de requerimentos específicos para poder passar à fase seguinte [2]. Por outro lado, o tempo que demora a colocar um produto no mercado pode ser mais demorado, e os recursos são também desperdiçados já que o produto não pode avançar no processo de desenvolvimento se, numa fase, uma determinada área estiver concluída e outra não estiver terminada. Como não há sobreposição de fases a comunicação é menor assim como a multi-aprendisagem e transferência de conhecimentos [3].

É adequado quando o tamanho do projeto torna impossível a rápida comunicação de grandes quantidades de informações, como no desenvolvimento na indústria aeroespacial ou em casos onde seja desejável que a administração tenha um maior controlo sobre o projeto [3].

2.2.2. Design for X

A conceção e desenvolvimento de novos produtos são assistidos por um conjunto de metodologias que visam otimizar os processos, melhorar a qualidade do produto e evitar desperdício de recursos das equipas de desenvolvimento enquanto estas procuram as melhores soluções para os problemas propostos.

Uma destas abordagens é a gestão multidimensional de projeto de produtos complexos, designada por Design for X. Nesta abordagem ao projeto de produtos complexos visa-se a otimização das soluções de projeto em função de diversos parâmetros, designados genericamente por X. Os parâmetros considerados podem ser a otimização do processo de fabrico, de montagem ou desmontagem do produto, aspetos estéticos, fiabilidade e, ainda, a sustentabilidade[4].

A metodologia de Design for X apresenta-se como uma mais valia para a redução dos custos no desenvolvimento e na vida do produto, melhorando a qualidade e a satisfação do cliente, como ainda a otimização do tempo de resposta na geração de conceitos, permitindo uma transição para técnicas de fabrico mais rápidas e homogéneas, que visam facilitar a prevenção de defeitos em fases mais iniciais, assim como uma maior flexibilidade na fase de desenvolvimento [5].

As principais ferramentas de Design for X podem ser agrupadas em 4 categorias independentes, conforme se ilustra na tabela abaixo.

Tabela 1 – Categorias de Design for X (adaptado) [5]

Categorias	Características	Benefícios/ Desvantagens
Diretrizes de concepção	<ul style="list-style-type: none"> • Depende do designer e seu discernimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de entender • Estimula a criatividade • Excessivamente simplista • Difícil saber quais diretrizes seguir • Nenhum efeito quantificado nas decisões
Ferramentas de avaliação do design	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliações qualitativas e quantitativas • Algumas ferramentas são baseadas em computador 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliações quantitativas fornecem resultados quantificáveis
Ferramentas de avaliação CAD	<ul style="list-style-type: none"> • Adequado ao projeto detalhado • Design for Manufacturing • Design for Assembly 	<ul style="list-style-type: none"> • Processo automatizado • Interpretação do design através do modelo virtual • Previne erro humano • Resultados analíticos automatizados
Ferramentas de avaliação CAPP (computer aided process planning)	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvido para certos aspetos de fabricação e montagem de componentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Processo criado automaticamente • Avaliação precisa do ciclo de vida • Evita problemas do Design for X

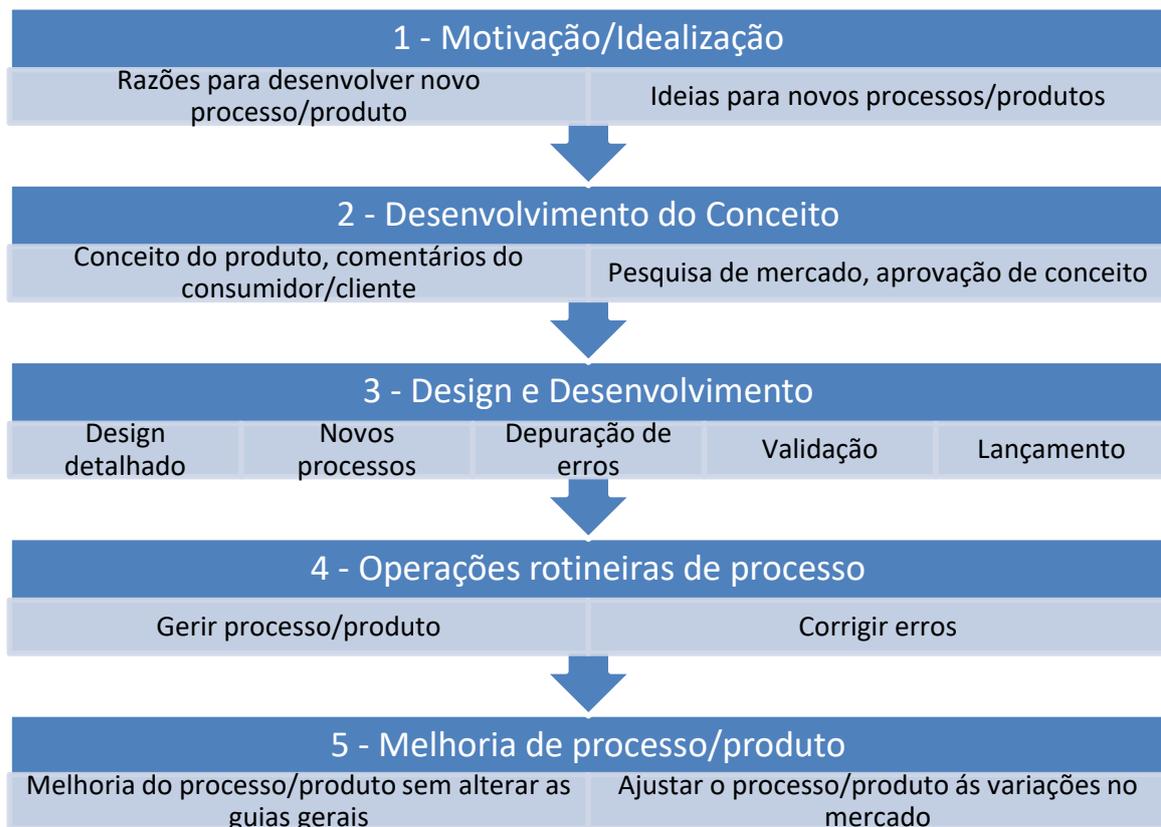
Em suma, o Design for X procura otimizar o projeto destacando características preferenciais para uma área específica, como é o caso do Design for Manufacturing (projeto para o fabrico) ou Design for Assembly (projeto para a montagem), mas pode ser aplicado sucessivamente, identificando melhorias no produto que resultam em resultados positivos para várias áreas. Podem surgir situações em que a melhoria de um aspeto contribua positiva ou negativamente para outro e neste caso a avaliação dos ganhos ou perdas gerais no conceito pode ser feita recorrendo às ferramentas do Design for X.

2.2.3. Design for Six Sigma

No âmbito do presente estudo, que visa desenvolver um relógio de pulso com características distintas, procurou-se desenvolver um projeto que permita responder às necessidades específicas do mercado atual. Assim, na fase de desenvolvimento, foram utilizadas preferencialmente ferramentas associadas à abordagem de projeto designadas por Design for Six Sigma que visam a obtenção de um projeto sólido e de um produto final que venha a superar as expectativas iniciais dos consumidores.

Assim, pode definir-se o Design for Six Sigma como sendo um conjunto de ferramentas que permitam melhorar a qualidade do produto no seu ciclo de vida [1].

Tabela 2 – Processos típicos do ciclo de vida de um processo/produto. Ciclos do processo de desenvolvimento são as fases 1-4. [1]



Foi utilizada como ferramenta a abordagem de Design for Six Sigma para estruturar as fases de projeto, na forma de IDOV, ou seja, Identificação, Design, Otimização e Verificação. Foram utilizadas as metodologias de pesquisa de mercado para identificar as necessidades do consumidor, Desenvolvimento da Função de Qualidade/Quality Function Deployment (QFD), comparação e benchmarking.

Caracterizaram-se as necessidades do consumidor, traduziram-se as mesmas em especificações do produto, por forma a garantir a qualidade do produto final e foram avaliadas as áreas passíveis de melhoria utilizando pesquisa e revisão de literatura. Estudou-se o material mais utilizado no fabrico de relógios recorrendo a ensaios experimentais e comparado com os materiais alternativos abordados na revisão do Estado da Arte.

Para definir o design final de acordo com as características exigidas e garantir que será desenvolvido com as especificações adequadas, foram aplicadas diferentes metodologias incluindo brainstorming e análise SWOT para comparar os materiais alternativos como standard da indústria, o AISI 316L.

Duas alternativas foram elaboradas, ambas respondendo às necessidades do consumidor e recorrendo a software de Desenho Assistido por Computador 3D foram desenvolvidos modelos virtuais dos dois conceitos de design. Executaram-se protótipos dos dois conceitos propostos, recorrendo a métodos de fabricação aditiva. Posteriormente utilizaram-se os protótipos para comparação recorrendo a entrevistas e avaliação física dos modelos.

O refinamento de peças foi então aplicado para otimizar o projeto, seguindo as necessidades específicas de fabricação do material alternativo escolhido e após avaliação de possíveis melhorias.

Desta forma, o autor procura integrar conceitos, ferramentas e metodologias do “Design for Six Sigma” para atingir um nível de qualidade que iguale ou supere as expectativas do consumidor recorrendo ao mínimo de tentativa e erro e otimizando o processo de desenvolvimento de um novo relógio de pulso.

2.3. Estado da Arte em Relógios de Pulso

Os relógios de pulso são definidos essencialmente pelo mecanismo utilizado para executar a sua função primária e pelas características da caixa.

O coração de um relógio de pulso é o seu mecanismo, já que é este o componente responsável pela função mais primária de um relógio: indicar as horas ou a passagem de tempo. Pode ser caracterizado pela tecnologia empregue para medir o tempo e também pelas funções extra que oferece.

A caixa de um relógio de pulso tem a função primária de proteger o mecanismo dos elementos externos, incluindo impacto, pó e água. Secundariamente, deve ter um design estético tal que adorne o utilizador, sendo o acessório mais utilizado por homens.

Podem ser caracterizadas pela forma geométrica, resistência aos elementos ou estanquicidade e materiais empregues.

2.3.1. Mecanismos

Os dois principais sistemas disponíveis em relógios de pulso, excluindo *smartwatches*, são os mecanismos de quartzo, em que uma pilha ou bateria elétrica é a fonte de energia, e os mecanismos de corda, onde a energia é armazenada por uma mola em tensão.

Nos mecanismos de quartzo, como o nome indica, é utilizado um oscilador eletrónico com um cristal de quartzo para contar o tempo. A corrente elétrica da pilha é transformada num sinal de frequência muito estável quando passa pelo oscilador de quartzo. É um sistema extremamente preciso, resistente ao impacto e não é necessário dar á corda já que a bateria dura cerca de 2 anos.

Os mecanismos de corda recorrem a uma mola tensionada para imprimir movimento a uma série de engrenagens e a um sistema de escapamento para regular o fornecimento de energia, ou seja, impedir que a mola liberte toda a sua energia armazenada de uma só vez. A oscilação deste sistema de escapamento tem uma frequência estável para que permita contar o tempo de forma precisa.

A baixa frequência de oscilação do regulador em mecanismos de corda em comparação com os mecanismos de quartzo fazem deles sistemas menos precisos, embora sejam mais desejados pela história e noção de tradição que possuem, mas também pela ideia de não descartabilidade. O facto de serem sistemas mecânicos e com valor associado relativamente elevado, faz destes mecanismos geralmente reparáveis e com uma vida útil muito mais longa que os mecanismos de quartzo.

Tanto os mecanismos de corda como os mecanismos de quartzo têm sistemas de geração de energia próprios, que vão desde energia solar (específica para os mecanismos de quartzo) ao aproveitamento dos movimentos naturais do utilizador através de um pendulo que transforma a energia mecânica em energia potencial elástica (mecanismos de mola) ou energia elétrica armazenada na bateria. Para prevenir o tensionamento excessivo da mola nos mecanismos mecânicos, o sistema automático é provido de uma embraiagem deslizante.

A noção de um relógio de pulso como um acessório duradouro criou um desejo acentuado de mecanismos mecânicos em praticamente todas exceto as gamas mais baixas de relógios de pulso. Isto pode comprovar-se verificando que a oferta dos principais fabricantes suíços, Patek Philippe, Vacheron Constantin e Audemars Piguet, apenas contemplam mecanismos de corda.

2.3.2. Estética e Geometria

Esteticamente existem bastante alternativas válidas para o design exterior de um relógio de pulso, mas podemos identificar e descrever algumas características, incluindo geometria principal da caixa, dos suportes da bracelete, ponteiros e marcadores de horas/minutos.

A forma principal da caixa, pode ter uma de várias formas e características geométricas. Contam-se entre alguns exemplos o recurso a caixa redonda (figura 1), quadrada (figura 2) ou oval (figura 3), mas também se identificaram relógios com formas octogonais (figura 4), hexagonais ou decagonais. A caixa pode ser simétrica ou assimétrica (figura 8).



Figura 1 – Rolex Millgauss, exemplo de caixa redonda [6]



Figura 2 – Tag Heuer Mónaco, exemplo de caixa quadrada [7]



Figura 3 – Audemars Piguet Millenary, exemplo de caixa oval [8]



Figura 4 – Audemars Piguet Royal Oak, exemplo de caixa octogonal [9]

Outra característica nas caixas de relógio são os suportes de bracelete. Estes podem ser curvos (figura 5) ou angulados (figura 6), e inclusive podem não ser protuberantes. Podem ser integrados no layout da caixa ou terem o seu design distinto (figura 7).



Figura 5 – Grand Seiko SBGA109, exemplo de suportes de bracelete curvos [10]



Figura 6 – Dievas Vortex, exemplo de suportes de bracelete angulados [11]



Figura 7 – Zelos Chroma, exemplo de relógio sem suportes de bracelete [12]



Figura 8 – Casio G-Shock Frogman, exemplo de relógio assimétrico [13]

O aro do relógio é também uma característica identificativa de um relógio de pulso que contribui para o seu reconhecimento e exclusividade. Pode ser fino ou grosso, baixo ou elevado. Dependendo das funções do relógio pode ter escalas ou ser numerado (e.g. taquímetro) e ser rotativo (relógios de mergulho).



Figura 9 – Nomos Tangente, exemplo de suportes de bracelete a direito [14]



Figura 10 - Rolex Submariner, exemplo de aro rotativo com escalas [15]

O mostrador é reconhecido como a cara do relógio e por isso a atenção ao seu design é de extrema importância. Dependendo das funções do relógio, este pode ter mostradores secundários (figura 9). O seu design poder ser de natureza simples e legível ou complicado (figura 13), como é o caso dos mostradores esqueletizados. Pode ser numerado, ou ter apenas marcadores, que podem ser elevados (figura 10), pintados ou recuados (sandwich) (figura 11). No caso de ser numerado pode ser utilizada numeração arábica ou romana.



Figura 11 – Mostrador tipo sandwich, Panerai Luminor Marina [16]

Pode ainda ser caracterizado um mostrador em função das cores utilizadas, tipo de tinta/acabamento ou se é texturado (guilloché).

Podem-se utilizar um dos vários tipos de ponteiros disponíveis no mercado (figura 12), que podem ter ou não efeito luminescente.

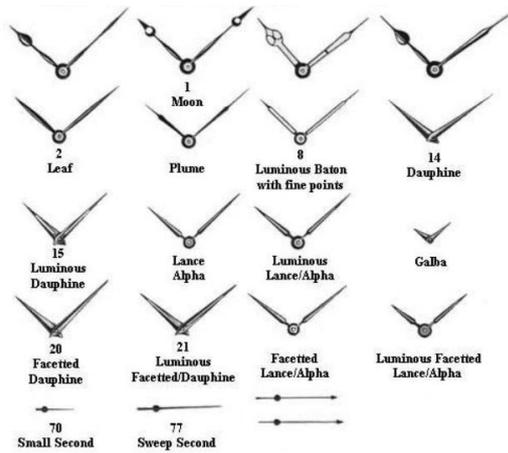


Figura 12 – Diferentes estilos de ponteiros de relógio [17]



Figura 13 – Piaget Altiplano, exemplo de mostrador tipo esqueleto [18]

2.3.3. Proteção

A capacidade da caixa de um relógio proteger o mecanismo dos elementos está intimamente ligada à sua estanquicidade e resistência mecânica para não ser facilmente danificado na sua manipulação, bem como resistir ao impacto e abrasão durante a vida do produto.

Um relógio pode ser estanque à água, ao pó ou a nenhum. Um relógio resistente à água é qualificado de acordo com a sua estanquicidade a diferentes pressões ou profundidade estática. Os valores tipicamente atribuídos são 3 Bar/30 metros, 5 Bar/50 metros, 10 Bar/100m, 20 Bar/200 metros em diante. Além da estanquicidade mínima a 100 metros (mais 25% do valor a que se aplica em teste estático), um relógio de mergulho deve cumprir com outros requisitos descritos na norma ISO 6425 [19].

Além da estanquicidade, a resistência mecânica do relógio é essencial para que a qualidade do produto se mantenha durante a sua vida. Ao contrário da estanquicidade, a resistência mecânica de um relógio de pulso depende menos da arquitetura da caixa e mais do material escolhido, sendo este o fator mais preponderante para a atribuição das qualidades desejadas. As qualidades mecânicas mais relevantes num relógio de pulso são a sua capacidade de resistência ao impacto e abrasão. Estas estão ligadas à tensão máxima admitida e dureza do material utilizado na caixa.

2.3.4. Materiais

A escolha de material mais popular para a caixa é o aço inoxidável, mais especificamente o aço inoxidável AISI 316L, pela sua durabilidade, resistência ao desgaste e capacidade de ser possível dar um bom acabamento superficial [20] [21]. É utilizado em marcas de gama alta, como Omega, mas também em marcas de gama média como Seiko ou Nixon, dado este geralmente publicitado nos catálogos das marcas como uma característica vantajosa.

O material cerâmico estudado é o dióxido de zircônio, um cerâmico de engenharia muito duro e relativamente forte que é conhecido por aplicações no campo médico, utilizado em muitos aparelhos prostéticos na forma de revestimento protetor ou partes feitas integralmente em dióxido de zircônio [22] [23]. É utilizado raramente em relógios, geralmente de gama alta em edições especiais.

O Forged Composite® é um material alternativo e recente, também utilizado em relógios de pulso. Trata-se de um compósito de matriz de vinil-éster reforçado com fibras longas descontinuas de carbono orientadas aleatoriamente, caracterizado pela sua leveza, resistência mecânica e aspeto visual distinto [24].

Existem ofertas de vários fabricantes nos materiais acima referidos. O aço inoxidável AISI 316L é largamente utilizado, mais notavelmente pela Omega, Patek Philippe e IWC [25]. O Forged Carbon ® é utilizado não exclusivamente pela Audemars Piguet [26] mas também pela TAG Heuer [27] e muitos mais exemplos. A Zirconia é o material empregue no Omega Speedmaster Dark Side of the Moon [28] e vários modelos da Panerai graças á sua dureza, resistência ao desgaste e abrasão [29].

Comparando o valor de relógios iguais em que muda apenas o material, observa-se que o valor do relógio sobe quando se recorre à Zirconia em detrimento do AISI 316L. Exemplo disso é o Omega Speedmaster, cuja versão em Zirconia tem um preço de venda recomendado de 9,980.00€ [30] face aos 7,200.00€ recomendados pelo fabricante para a versão em AISI 316L [31]. Da mesma forma, o Forged Carbon® aumenta o valor de venda recomendado pelo fabricante. Consultando o website de um fabricante cuja oferta inclui relógios semelhantes, com as mesmas funções, em que apenas difere o material, verifica-se que o modelo oferecido em Forged Carbon ® tem um preço de venda recomendado de 19,900.00€ [32], consideravelmente superior aos 4,800.00€ que o fabricante pede pelo modelo em aço inoxidável [33].

2.4. Processos/Tecnologias

Nesta secção são apresentados e caracterizados os principais processos tecnológicos necessários para o fabrico das caixas de relógio, assim como um especial enfoque nos processos de fabrico aditivo que são usados no fabrico de protótipos semi-funcionais durante as etapas de teste e validação no desenvolvimento de novos produtos.

Inicialmente revê-se o estado da arte dos sistemas de Desenho Assistido por Computador, suas vantagens e limitações para o desenvolvimento de novos produtos, de modo particular no desenvolvimento e projeto de caixas para relógios de pulso.

Em seguida caracterizam-se as técnicas de fabrico convencionais utilizadas atualmente no processo de construção de caixas de relógio e as técnicas de fabricação aditiva consideradas para construção de protótipos.

2.4.1. Modelação/Prototipagem Virtual

O presente subcapítulo propõe descrever as capacidades dos sistemas de desenho assistido por computador (CAD) atualmente existente, as suas necessidades e limitações aplicadas ao caso específico de desenvolvimento de um novo relógio de pulso.

Os sistemas CAD são uma ferramenta essencial no desenvolvimento de novos produtos e especialmente em relógios de pulso já que suportam e validam as opções de design estético, mecânico e industrial anteriormente à fase de prototipagem ou fabricação, diminuindo custos de desenvolvimento e aumentando a qualidade em cada iteração no processo de desenvolvimento.

Tratando-se o relógio de pulso como uma assemblagem de elementos, é imperativo que o software CAD utilizado faça gestão dos componentes individualmente, ou ao nível de peças individuais, e posteriormente como uma montagem desses componentes, garantindo assim a harmonia mecânica dos vários elementos que compõem o relógio e permitindo alterações localizadas. Existem várias ofertas dos principais distribuidores de software CAD no mercado com esta característica.[34][35]

Evoluções a nível da computação na nuvem vieram colmatar deficiências do software CAD, quer a nível de colaboração como requisitos mínimos da máquina onde o software é utilizado. Existem ofertas no mercado em que o software é instalado no computador mas a

maior parte do pós-processamento ocorre nos servidores do fornecedor do sistema CAD [35] ou ofertas que correm na totalidade nos servidores do fornecedor [36].

Existem deficiências e preocupações a nível da utilização de sistemas CAD na nuvem. Por um lado, a dependência de ligação à internet, que limita o acesso aos documentos e software caso a ligação não exista ou seja de má qualidade. Outro aspeto é o armazenamento de documentos com propriedade intelectual/industrial agregada em servidores externos. Com o amplo acesso à internet disponível atualmente e a crescente preocupação com a privacidade dos conteúdos guardados em servidores externos, considera o autor que as vantagens dos sistemas CAD com integração na nuvem ultrapassam largamente as suas desvantagens.

Tabela 3 – Tabela comparativa de sistemas CAD existentes com e sem integração na nuvem [37].

	Integração completa	Sem integração/local
Flexibilidade	Extremamente flexível. Pode ser utilizado em mais do que uma máquina e mais do que uma plataforma. Desde que exista acesso á internet, pode-se aceder ao software e a qualquer modelo.	Inflexível. Limitado ás máquinas onde o software está instalado e muitas vezes limitados a nível de sistema operativo (Windows/PC).
Manutenção	Não é necessário atualizar o software e devido aos requisitos de hardware serem poucos este demora mais tempo a tornar-se obsoleto.	O utilizador deve atualizar o software para ter acesso a todas a novas capacidades e características. Muitas vezes o hardware necessita ser atualizado para acompanhar a evolução de software.
Custo	É vendido como subscrição ou pago mediante o seu uso. Reduz-se o custo a nível de hardware (custo capital) mas aumenta o custo operacional.	Quer seja utilizada uma licença de subscrição ou perpétua, existe sempre o custo das atualizações bem como o investimento recorrente em atualizações de hardware.
Colaboração	Permite colaboração em tempo real sem haver a preocupação com a versão do ficheiro.	Toda a informação está guardada em ficheiros, sendo que só é possível um utilizador trabalhar numa versão do ficheiro de cada vez. É necessário trocar de ficheiros várias vezes para colaboração.
Gestão de versões	Existe apenas uma versão mais atual de um ficheiro. É possível reverter indefinidamente para versões anteriores do documento.	Os utilizadores têm de manter registo das versões manualmente.

No desenvolvimento de relógios de pulso muitos elementos externos são empregues. Deve-se estudar a arquitetura do produto garantido a correta integração de elementos como o mecanismo na estrutura da caixa desenvolvida.

O recurso a tecnologias de modelação CAD 3D é uma ferramenta útil no processo de prototipagem virtual, permitindo gerar conceitos muito aproximados ao produto final. É então possível validar e otimizar os conceitos desenvolvidos, ajudando a garantir o desempenho do relógio desenvolvido.

É também relevante que é necessária a geração de modelos virtuais para permitir produzir protótipos através de técnicas de fabrico aditivo. Os modelos são também importantes para a comunicação com futuros fornecedores, otimizando a entrada em produção do produto final.

Por último, a prototipagem virtual evita desperdício de recursos, reduzindo o tempo de desenvolvimento necessário e gerando conceitos mais promissores na fase de prototipagem física.

2.4.2. Fabrico Subtrativo/Convencional

Neste subcapítulo são descritos métodos de fabrico subtrativo ou convencionais que sejam considerados pelo autor relevantes para este projeto. O critério para a seleção destes métodos de fabrico foi o facto de serem métodos utilizados atualmente na fabricação de caixas de relógios.

2.4.2.1. Maquinação por corte de apara

A maquinação por corte ou arranque de apara é um tipo de fabricação subtrativa comumente utilizada no fabrico de caixas de relógios de pulso. Ferramentas de corte afiadas removem porções, ou aparas, do material a ser trabalhado, de forma sucessiva para criar a forma final desejada [38].

Entre os vários processos de corte por arranque de apara podem-se contar as operações de torneamento, fresagem, furação, alargamento, etc. No torneamento a peça gira sobre um eixo e a ferramenta de corte move-se num eixo paralelo á rotação da peça. Na fresagem a peça está estática e uma fresa rotativa move-se em 3 ou mais eixos para remover o material [39].

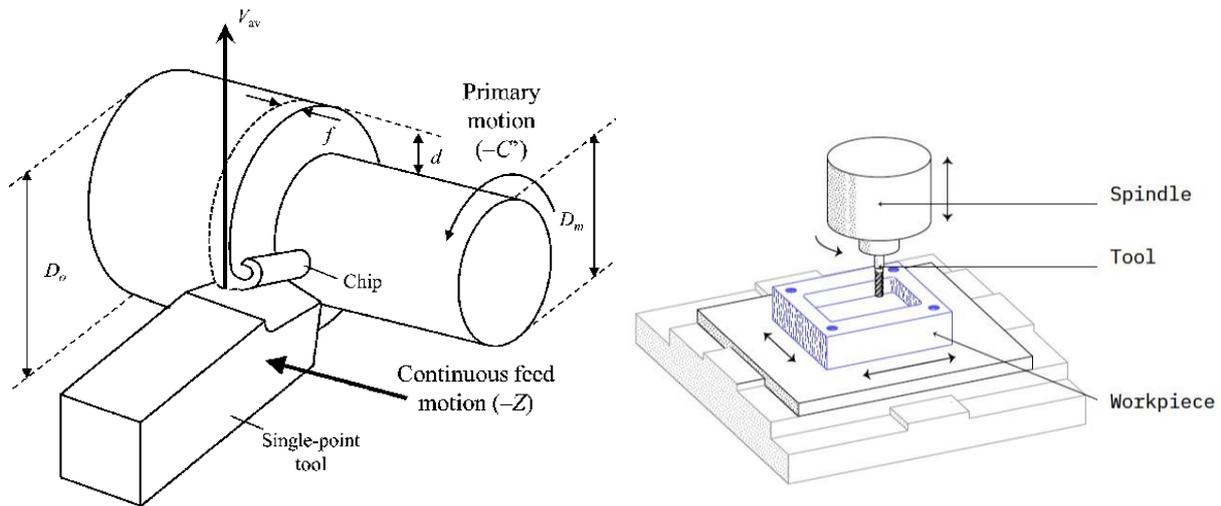


Figura 14 - Exemplo do processo de torneamento e fresagem [38], [39]

No caso específico da fabricação de caixas de relógios, a fresagem é utilizada para criar a forma exterior da caixa, por vezes combinada com torneamento para a zona interior onde o mecanismo ficará alojado.

O processo de corte requer que a ferramenta de corte seja mais dura que o material a ser cortado, já que deve penetrar o mesmo. É capaz de processar diferentes materiais, incluindo polímeros, madeira, ligas metálicas e até materiais cerâmicos [39]. Devido á temperatura atingida poder ser utilizada lubrificação/refrigeração líquida para melhorar e otimizar o processo [40]. Pode ser utilizado em conjunto com outros métodos de fabrico, como fundição ou moldagem, para atingir especificações geométricas ou dimensionais, mas também a nível de acabamento [39]. No caso do produto estudado, um relógio de pulso, o torneamento é geralmente utilizado em peças forjadas para garantir a precisão dimensional de zonas críticas (encaixes dos vidros e tampas, encaixe do tubo interior do botão de ajuste de horas, etc.).

Evoluções incluem o Controlo Numérico Computorizado (CNC) que permite automatizar as tarefas, requerendo, no entanto, que seja feita a programação para cada peça específica, que torna estes equipamentos mais adequados para produções de médias e grandes quantidades [38], que vai de encontro às necessidades do produto em estudo.

É um processo bastante versátil e que pode inclusive ter baixos custos de produção, dependendo dos equipamentos utilizados. A qualidade das peças produzidas é muito boa e nos melhores equipamentos CNC consegue-se obter elevada precisão e repetibilidade [39], o que justifica a ampla utilização destes sistemas no fabrico de relógios de pulso.

2.4.2.2. Maquinação por abrasão

A maquinação por abrasão é o conjunto de processos de fabricação subtrativa onde o arranque de material é feito pelo contacto relativo entre a peça de trabalho e a ferramenta, composta por partículas muito pequenas, não-metálicas e dispersas aleatoriamente [41].

Este conjunto de processos é muito relevante na fabricação de relógios de pulso, principalmente por garantir melhor precisão e acabamento que outras técnicas empregues. Devido ao tempo de maquinação ser muito lento, estes processos são utilizados apenas em conjunto com outras técnicas e reservados para zonas de maior controlo dimensional como encaixes dos vidros e tampas. A diferença de custo para outros métodos é justificada em casos onde a exigência dimensional é de extrema importância, como em relógios de mergulho, ou quando os materiais a processar forem caracterizados por extrema dureza.

Outra aplicação destes métodos de fabrico no fabrico de relógios de pulso é o polimento por pasta abrasiva.

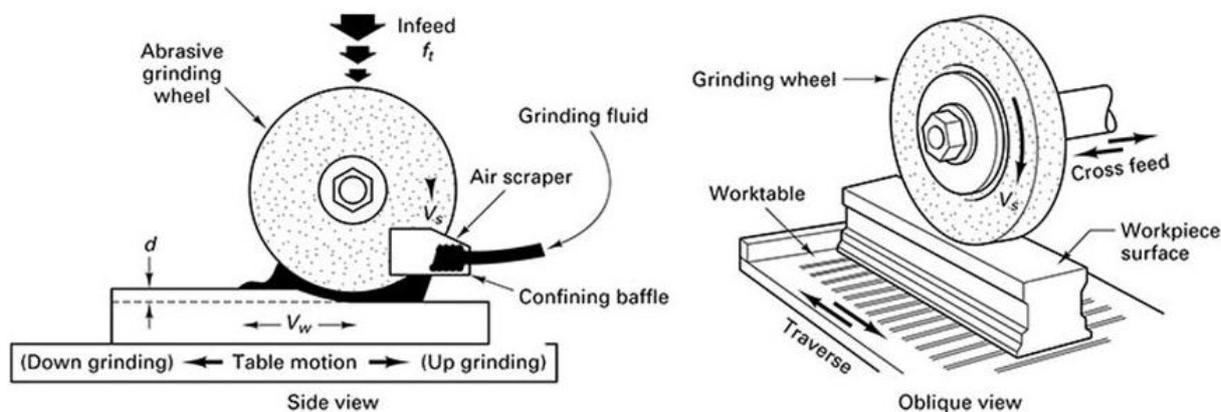


Figura 15 – Exemplo que maquinação por roda abrasiva [42]

A maquinação por abrasão não está limitada a ferramentas sólidas, já que as partículas abrasivas podem estar sob a forma de suspensão em pastas (abrasive slurry) [43] ou misturadas e líquidos altamente pressurizados (corte por jacto de água) [44].

Por produzir acabamentos superficiais com elevado grau de polimento e bastante controlo dimensional, a maquinação por abrasão é amplamente utilizada como operação de acabamento. No entanto devido à elevada dureza da ferramenta esta permite também maquinar materiais cerâmicos ou de elevada dureza que seriam muito difíceis de maquinar recorrendo a outros métodos mais convencionais [41].

2.4.2.3. Forjamento

Forjamento é o processo de alterar a geometria de uma peça de trabalho através de forças compressivas localizadas [45] e é um dos métodos mais utilizados no fabrico de caixas de relógios de pulso. Apesar da baixa precisão dimensional, o baixo custo de operação em metais contribui para que seja utilizada em várias gamas de mercado, principalmente utilizada em conjunto com outras técnicas de fabrico.

O forjamento pode ocorrer a frio (abaixo da temperatura de recristalização) ou a peça de trabalho pode ser previamente aquecida, geralmente a temperaturas até 1260°C (acima da temperatura de recristalização) dependendo do metal/liga utilizado/a [45]. Pode ser feito por molde fechado ou molde aberto [46].

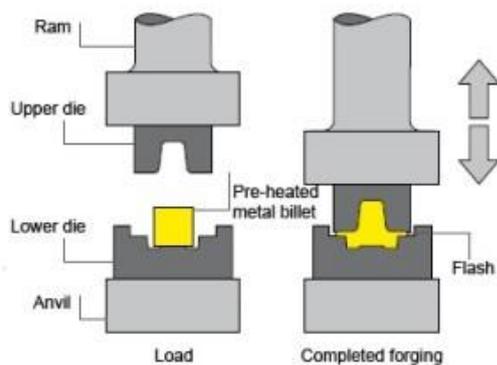


Figura 16 – Exemplo de forjamento a quente em molde fechado [47]

O processo de forjamento cria peças mais resistentes que fundição devido á ocorrência de fenómenos de endurecimento por tensões internas e recristalização [45].

A fabricação por forjamento é um método barato e que produz peças com boa qualidade mecânica, embora o acabamento não seja adequado a fins de grande precisão dimensional, requerendo que se utilizem outros meios de fabricação para acabar a peça [48].

Por ser bastante versátil em termos de ligas que podem ser processadas por forjamento, pelas boas características mecânicas, pela possibilidade de fabricar diferentes geometrias e pelo seu baixo custo a forja é largamente utilizada para criar caixas de relógios.

2.4.3. Métodos de Fabricação Aditiva

2.4.3.1. Estereolitografia (SLA)

A estereolitografia é um processo de fabricação aditiva amplamente utilizado para prototipagem rápida de componentes com base em modelos computadorizados em 3 dimensões (3D CAD), convertendo-os num modelo físico.

Foi patenteado em 1986 e produz peças com elevada precisão (0,1mm) e menor rugosidade superficial, o que o torna indicado para fabricar componentes bastante detalhados e com tolerâncias baixas [49][50]. Exemplos da sua aplicação são a fabricação de moldes, padrões e componentes funcionais, em engenharia e desenvolvimento de produto, indústria dentária, jóias, educação, etc [51].

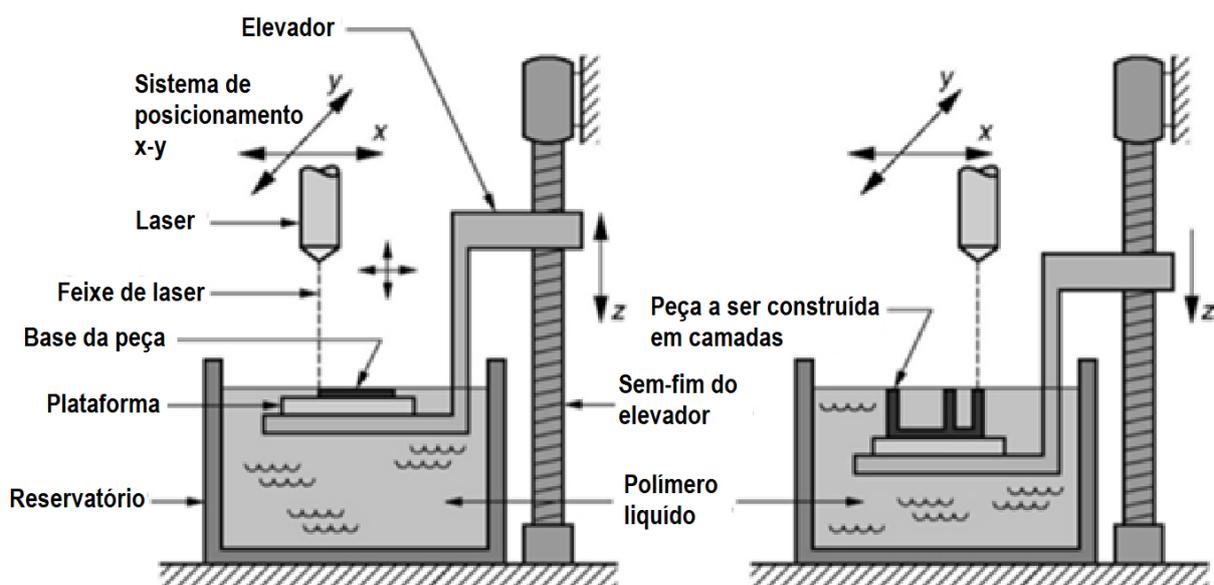


Figura 17 - Estereolitografia: (1) a camada inicial de resina curada por laser; e (2) a peça começa a ganhar forma após várias camadas curadas [49].

Esta tecnologia assenta no processo de cura seletiva de uma resina através de um laser de hélio-árgon controlado por computador que traça secções da geometria a ser fabricada, dando origem a uma camada sólida em polímero termoplástico [50], conforme exemplificado na figura acima.

Após cada camada a base onde o modelo está assente baixa para que o laser possa curar e endurecer uma nova camada [52]. A génese de várias camadas sequenciais cria a geometria

final da peça com elevada precisão e bom acabamento superficial [51], conforme exemplo na figura abaixo.

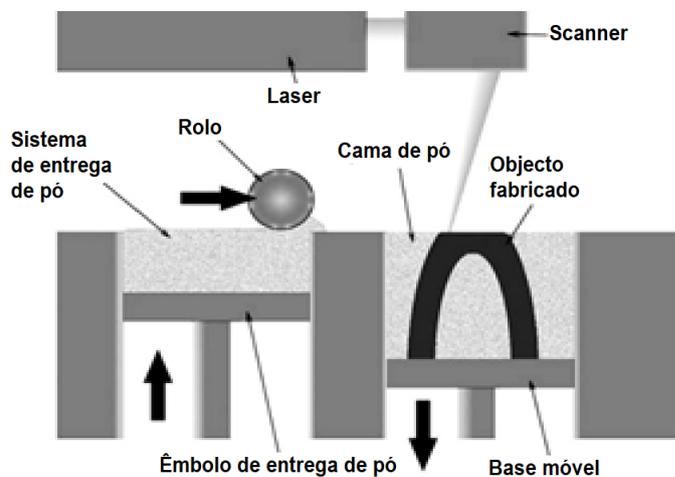


Figura 18 – Exemplo de peça fabricada por SLA [51].

2.4.3.2. Sinterização Laser Seletiva (SLS)

O processo de Sinterização por Laser Seletiva foi desenvolvido na Universidade do Texas por Deckard e Bourell e patentado em 1989 [49], exemplificado na figura 19.

Este é um processo de fabricação aditiva em que um laser de alta intensidade funde o material em forma de pó para criar secções sólidas do modelo 3D CAD [52]. A composição do material em pó utilizado pode variar para criar peças em cerâmica, plástico ou metais [52].



À medida que cada camada é terminada, a base onde o modelo está assente baixa por forma a criar espaço para que uma nova camada de pó possa ser depositada sobre a camada anterior. No processo de SLS os restos de material em pó não sinterizado acabam por servir de estrutura de suporte, sendo este processo ideal para geometrias intrincadas [52].

Figura 19 – Processo de Sinterização por Laser Seletiva [52].

É então imperativo que o modelo 3D CAD possua aberturas para que o pó não sinterizado possa escapar no processo de limpeza da peça acabada.

Peças fabricadas utilizando SLS possuem grande resistência mecânica, embora o acabamento superficial apresente bastante rugosidade [51] (figura 20). Este método é adequado para peças funcionais que necessitem de boa resistência e onde o acabamento superficial não seja prioritário.

Pode-se obter uma boa precisão com SLS, comparável ao SLA [53]. A polivalência na escolha de materiais é uma vantagem deste processo [52] bem como a capacidade para produzir geometrias complexas contendo características interiores, negativas, paredes finas, etc. [51].



Figura 20 – Exemplo de peça fabricada por SLS [51].

2.4.3.3. Modelagem por Deposição Fundida (FDM)

O método de fabricação aditiva mais conhecido é a Modelagem por Deposição Fundida (FDM), alimentado pela proliferação de pequenas impressoras 3D a baixo custo [51].

A tecnologia assenta numa cabeça de extrusão de cera ou polímero termoplástico que se desloca em 2 eixos cartesianos “X-Y” para depositar o material fundido, por forma a criar uma secção física do modelo 3D CAD. Em seguida, num terceiro eixo “Z”, a cabeça de extrusão sobe para começar a criar uma nova secção do modelo a criar [49]. As camadas depositadas

podem ter uma resolução de até 0,1mm [54] e pode-se obter uma precisão de até 0,2mm [55], figura (21).

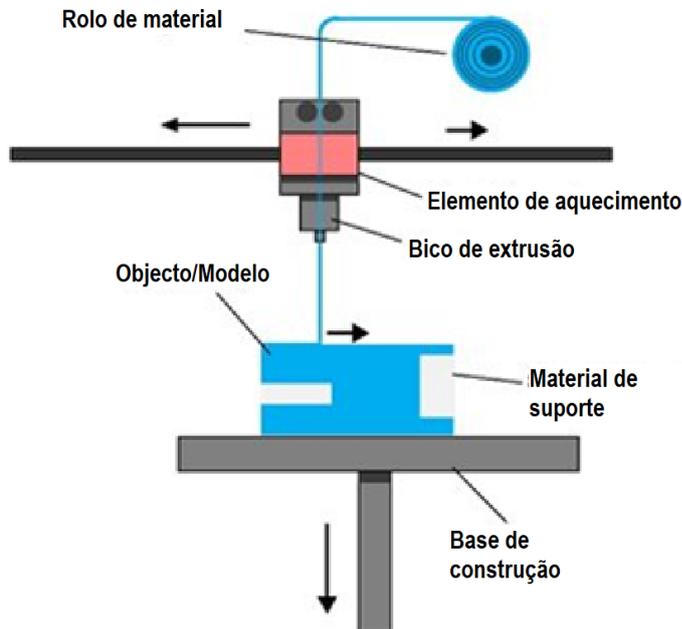


Figura 21 – Processo de Modelagem Deposição Fundida [56]

Não é o processo com melhor resolução nem é adequado para geometrias complexas, mas pode-se obter uma boa qualidade superficial recorrendo a processos de polimento químicos e mecânicos [51].

A fabricação por FDM produz peças resistentes e com boa durabilidade em materiais termoplásticos, é de fácil utilização e com pouca limitação a nível de tamanho de peças produzidas [56] (figura 22).

Estas características fazem deste processo um dos mais conhecidos da população, já que é de fácil utilização e os equipamentos, bem como os consumíveis, são relativamente baratos produzindo, no entanto, peças com boas qualidades mecânicas. Este apresenta um nível de precisão adequado para o nível pessoal e de hobby, tornando-se menos adequado onde as exigências técnicas sejam maiores.



Figura 22 – Exemplo de peça produzida por FDM [51].

2.4.3.4. Modelação de Objetos por Laminação (LOM)

O processo de Modelação de Objetos por Laminação (LOM) foi introduzido pela Helisys com base no princípio da laminação.

Neste método a peça é fabricada com cortes por laser de uma folha do material laminado com o formato da secção do modelo 3D CAD que é em seguida movida para baixo no aparelho, por forma a permitir que uma nova camada de laminado fique por cima, pronta a ser novamente cortada por laser e colada á camada previamente cortada. Várias repetições destes passos são necessárias para formar um objeto físico. É necessário acabamento manual do modelo fabricado por LOM [57], conforme figura abaixo.

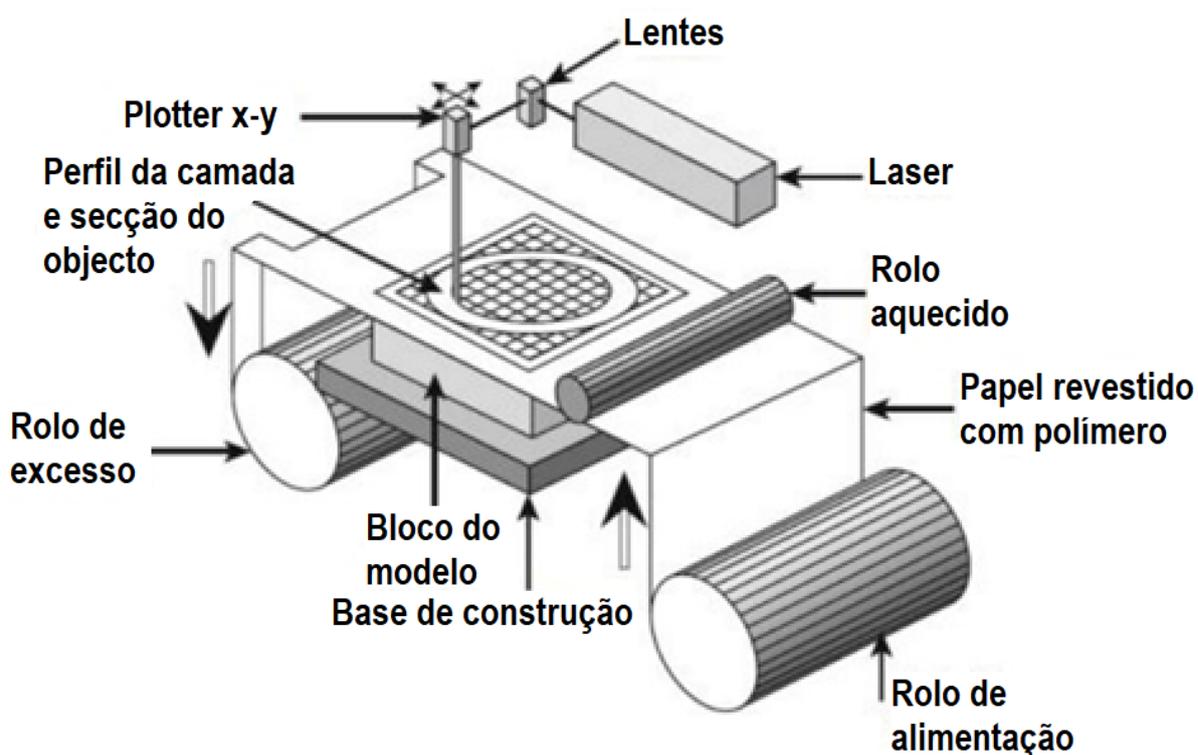


Figura 23 – Processo de modelagem por laminação (LOM)[57]

Este método apresenta vantagens como a diversidade de materiais possíveis de serem empregues, como papel, cerâmica, polímeros, metais e até fibra de carbono (figura 24). Não necessita de estruturas de suporte nem precisa de cura após o término da fabricação da peça. [57]



Figura 24 – Exemplo de peças em fibra de carbono produzidas por LOM [58]

No entanto, o fabrico de peças por LOM implica a necessidade de acabamento manual, bem como a pintura ou revestimento de proteção, principalmente em peças fabricadas em papel [57]. Além destas desvantagens, este processo apresenta desperdício de material.

2.4.3.5. Impressão 3D (3DP)

Impressão 3D é um processo de fabricação aditiva em que um pó é unido por uma resina de forma seletiva, com cada depósito terminado a ser rebaixado por forma a dar lugar a uma nova camada de pó para ser injetada com resina adesiva, camada a camada até se criar um objeto sólido (figura 25). O pó não unido com resina adesiva fica solto e é limpo após a criação da peça. Uma ação de pós-cura pode ser adicionada ao processo para melhorar as características mecânicas da peça. [49]

Este processo foi desenvolvido pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) e introduzido em 2006 pela Solidsclapes [57].

Este processo permite criar peças coloridas, não necessita de estrutura de suporte, é bastante polivalente e é dos mais baratos no mercado [57]. Permite a utilização de vários materiais, como carbono e metais, dependendo do material adesivo e processo de pós cura utilizado [59] (figura 26).

Este processo é caracterizado por ter a pior resolução de entre os métodos de fabricação aditiva. Não obstante ser possível injetar epóxi nas peças para aumentar a sua resistência mecânica, este método produz peças com baixa resistência mecânica mais indicadas para fins de demonstração visual [49], [57].

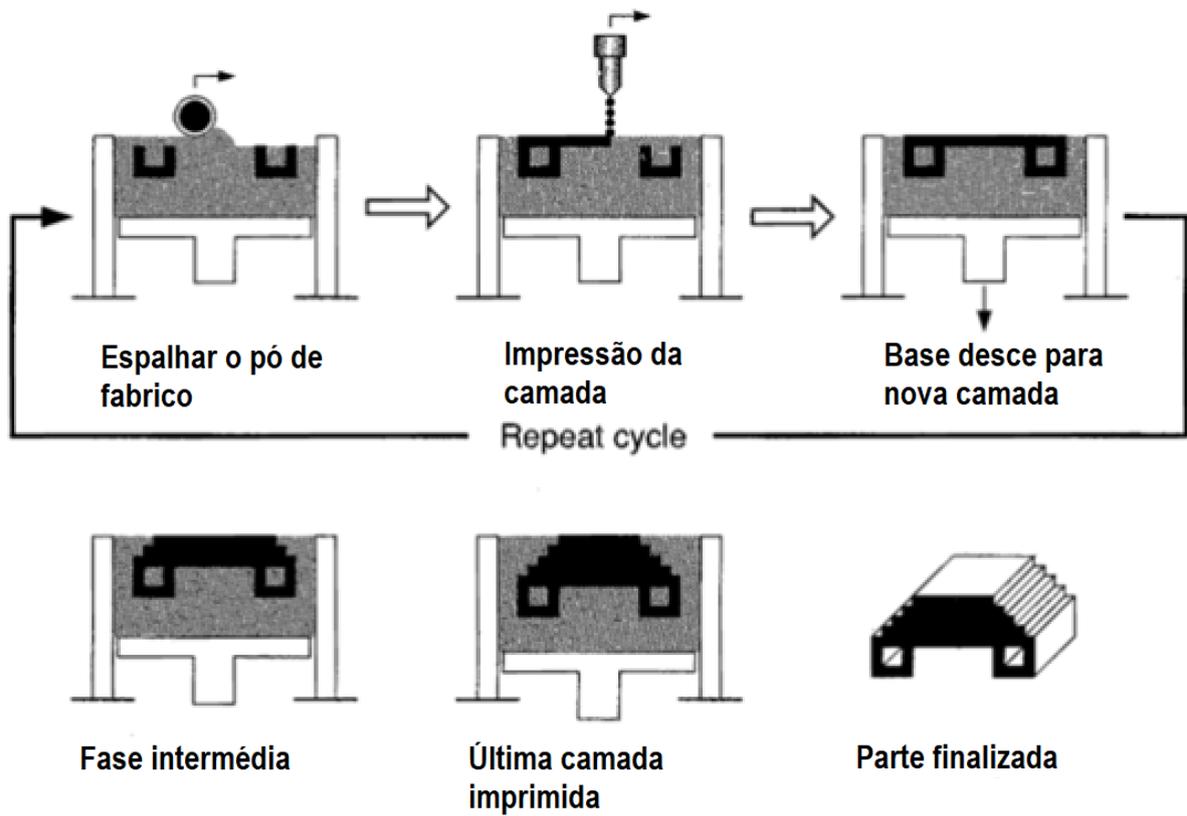


Figura 25 – Processo de Impressão 3D (3DP) [57]



Figura 26 – Exemplo de peça fabricada por 3DP em carbono [59]

2.4.3.6. Fusão por Feixe de Eletrões (EBM)

A modelagem por feixe de eletrões é semelhante ao SLS em termos de metodologia, mas a energia fornecida para fusão do pó metálico vem de um feixe de eletrões a alta voltagem (30-60KV) [57]. O único sistema existente desta tecnologia está patenteado pela Arcam AB (Suécia) e está disponível desde 2005 [60].

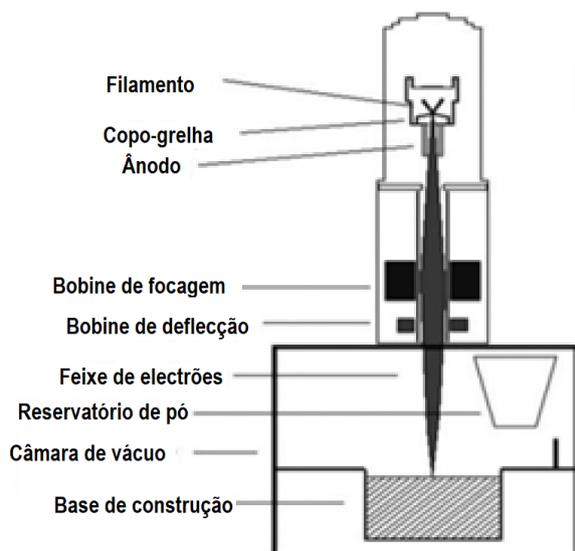


Figura 27 – Processo de fabrico por Fusão por Feixe de Eletrões (EBM) [57]

Diferente do SLS, o EBM ocorre num ambiente de vácuo, em que os equipamentos atingem pressões absolutas de 5×10^{-5} mBar, com a pressão parcial do Helio (He) do feixe de eletrões a 4×10^{-4} mBar [61].

Um feixe de eletrões é focado e direcionado por um sistema de bobines e lentes de acordo com as secções projetadas do modelo 3D CAD, fundindo o pó metálico disposto na mesa de fabricação, camada após camada até formar o objeto final [60] (figura 27).

Este processo garante excelentes propriedades mecânicas, comparáveis às de metais em estado bruto e melhores que peças obtidas por fundição, graças ao processo decorrer em vácuo que garante peças finalizadas sem tensões residuais e livres de estruturas martensíticas [61] (figura 28).



Figura 28 – Exemplos de peças em Ti64Al4V produzidas por EBM, antes e depois de maquinagem [62]

Este processo é adequado para peças destinadas a fins medicinais, onde se pretendam peças com elevada resistência e boas propriedades mecânicas. Permite fabricação de peças em diversos metais, incluindo ligas de titânio (Ti), com adição de alumínio (Al) e vanádio (V) ou ligas de cobre (Cu). No entanto, o custo deste processo é uma grande desvantagem que restringe o seu uso mais alargado.

2.4.3.7. Projeção Direta de Luz (DLP)

O método de fabrico por trás da Projeção Direta de Luz (DLP) é semelhante ao SLA, na medida em que o material base é uma resina, no entanto a cura da mesma é feita através da projeção de luz ao invés de um laser focado. A luz é projetada na forma da secção a ser curada, o que permite curar uma camada inteira a cada passagem [63] (figura 29).

Esta estratégia permite um nível de detalhe muito superior além de que por executar uma camada inteira de uma só vez é consideravelmente mais rápido que SLA [64]. Projeção Contínua Direta de Luz (CDLP) é uma evolução do DLP em que o movimento ascendente da mesa de trabalho é constante, oposto a uma camada de cada vez, e a imagem projetada vai alterando de forma dinâmica, acelerando ainda mais o processo de DLP [65].

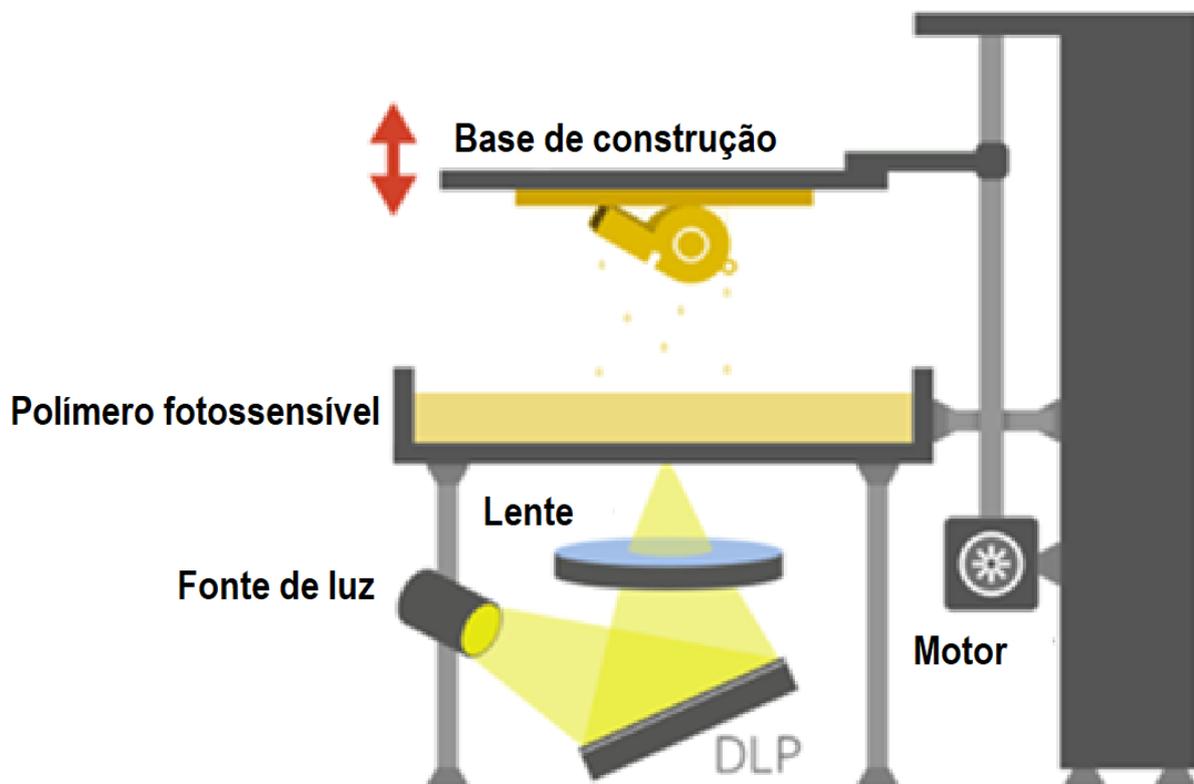


Figura 29 – Processo de fabricação por DLP [66]

Na imagem acima podemos observar o conceito por trás do DLP. Uma imagem da secção, correspondente à camada a ser gerada, é projetada numa luz de espectro visível num banho de resina fotossensível. A imagem é focada e ajustada recorrendo a lentes e a mesa de trabalho sobe após a criação de cada camada, de forma sucessiva até que a peça final esteja concluída. No fim da peça estar concluída deve ser sujeita a uma pós-cura em luz UV de forma a ganhar resistência mecânica [64].



Figura 30 – Exemplo de peça produzida por DLP [64]

Este processo apresenta como vantagens a sua velocidade de processamento e criação de objetos com elevado detalhe e bom acabamento superficial (figura 30). A sua resistência mecânica é adequada face aos materiais base disponíveis, limitados a polímeros com base em resinas fotossensíveis [64].

É ideal para fins relacionados com joelheira, dispositivos médicos ou moldes de injeção de baixa produção [63].

2.4.4. Physical Vapor Deposition – PVD

Deposição física de vapor (PVD) é a técnica de alteração superficial em que se criam camadas finas de 2 a 4 micrometro do material depositado no substrato metálico, com vista a melhorar as características mecânicas e químicas da peça de trabalho [67]. É amplamente utilizado em relógios de pulso para melhoria de características mecânicas e fins estéticos.

O PVD admite uma grande quantidade de materiais de deposição, entre eles Nitreto de Zircónio (ZrN), Carbo-Nitreto de Zircónio (ZrCN), Nitreto de Titânio (TiN), Carbo-Nitreto de Titânio (TiCN), Nitreto de Crómio (CrN), Carbo-Nitreto de Crómio (CrCN), sendo adequados de acordo com as propriedades desejadas, como a dureza, resistência à abrasão ou resistência química [68]. Podem-se obter diferentes colorações, que variam consoante os materiais aplicados [69].

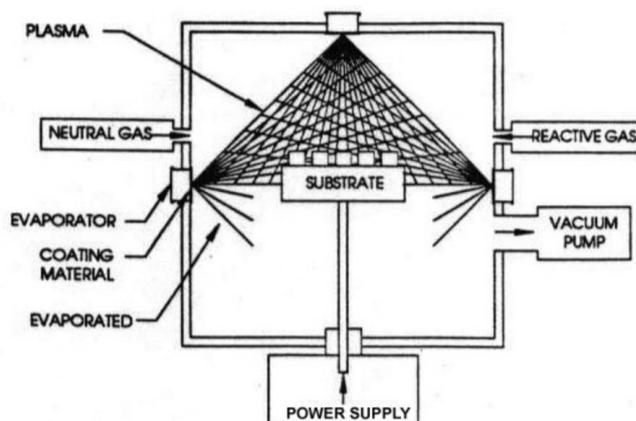


Figura 31 – Processo de deposição de vapor físico (PVD) [67]

Gases reativos, como o nitrogénio, oxigénio e acetileno são adicionados para aumentar a ligação do material adicionado ao substrato, criando assim uma superfície com bastante lubricidade e boas propriedades tribológicas [69].

Nos materiais que podem ser tratados incluem-se carbonetos, aços, ligas de alumínio, titânio e magnésio. O tratamento prévio é extremamente relevante e a peça é sujeita a métodos de limpeza por ultrassons, desengorduramento e secagem supercrítica (fréon) [67].

2.4.5. Técnicas de Processamento de Cerâmicos

Neste subcapítulo são sumarizadas as técnicas de processamento de materiais cerâmicos consideradas pelo autor para o fabrico de uma caixa de relógio em Zirconia.

A Zirconia é produzida por sinterização e começa o ciclo de fabrico na forma de Dióxido de Zircónio (ZrO_2) em pó [29], que é posteriormente misturado com elementos ligantes e estabilizadores, como Ytria [70]. A composição exata destas misturas é proprietária, podendo haver ligeiras diferenças entre amostras de Zirconia de diferentes fabricantes.

É então sujeito a um processo de moldagem por prensa a pressões e temperaturas elevadas, onde se obtém a peça em “estado verde” [71]. Neste momento a peça é frágil e quebradiça. Posteriormente há uma cura em autoclave em que a peça encolhe cerca de 20%, num processo que pode criar empenos caso não seja extremamente bem controlado [72].

Para criar zonas de elevado rigor dimensional, como as faces de contacto com a tampa ou vidros, é necessário recorrer a métodos de fabrico abrasivos, devido á elevada dureza do YTZP [29].

2.5. Questão da Investigação

O valor dos materiais utilizados nos relógios de pulso é muito pequeno, devido às pequenas quantidades usadas, conferindo a maior parte do valor do relógio à mão de obra e trabalho que é aplicado a cada relógio [73]. Isso cria uma oportunidade de criar um produto utilizando os melhores materiais disponíveis, já que a sua utilização pode criar um valor acrescentado maior do que os custos de produção que acarreta.

A geração millennial mostra-se como uma base de consumidores que procuram luxo que vai além da marca [74] e de acordo com a revisão bibliográfica realizada, observa-se que existem materiais alternativos com capacidade para acrescentar valor a um relógio de pulso [30][32].

É então desejável desenvolver um novo relógio construído num material alternativo e que responda às necessidades do mercado uma vez que existe lugar para um novo modelo de relógio de pulso que vá de encontro ao desejo dos consumidores de possuir um relógio duradouro que tenha o seu valor nos materiais e soluções empregues e não no valor da marca do fabricante.

A pergunta que o trabalho desenvolvido pretende responder é “Como desenvolver um novo relógio de pulso num material alternativo que responda às necessidades do mercado atual”.

3. Materiais e Métodos

3.1. Introdução e Enquadramento

O desenvolvimento de qualquer produto procura dar respostas às necessidades do mercado. No caso específico apresentado ao longo desta dissertação o autor propõe identificar as necessidades do mercado e desenvolver um produto adequado para atender as necessidades identificadas.

Por forma a otimizar o processo de conceção e desenvolvimento de um novo relógio de pulso, o autor recorre a uma série de metodologias descritas ao longo dos seguintes subcapítulos. Em Identificação das Necessidades o autor descreve o desenvolvimento das ferramentas utilizadas para identificar as necessidades do consumidor. No seguinte subcapítulo, Metodologias e Ensaio Laboratoriais, é feita a revisão dos materiais considerados e posteriormente descrevem-se os métodos utilizados nos ensaios laboratoriais levados a cabo para caracterizar o AISI 316L.

3.2. Identificação das Necessidades

Na identificação das necessidades para este produto, o autor focou a atenção nas necessidades do consumidor e na falha de mercado que pretendia ocupar.

Criou-se uma estratégia de pesquisa de mercado envolvendo entrevistas, um questionário de análise de consumidores (Anexo 1) e pesquisa proactiva das ofertas existentes no mercado, bibliografia relevante (embora não académica).

O conhecimento pessoal que o autor traz da sua experiência profissional numa empresa de relógios estado-unidense contribuiu para o desenvolvimento do questionário onde se pretendia identificar:

- Cliente-tipo, incluindo experiência, expectativas e desejos.
- Inserção no mercado, gama onde posicionar o produto.
- Características desejadas pelo cliente-tipo.

Paralelamente o autor conduziu algumas entrevistas junto de possíveis clientes, colecionadores de relógios e membros relevantes em comunidades específicas de aficionados por relógios. O objetivo destas entrevistas era validar os dados obtidos nos questionários.

O questionário foi difundido on-line em grupos de colecionadores e aficionados nas redes sociais e fóruns de discussão focados em relojoaria. O questionário foi difundido em língua inglesa já que se pretende um produto de alcance universal.

3.3. Metodologias e Ensaios Laboratoriais

Para este projeto, decidiu o autor propor um material alternativo de última geração para substituir o material padrão da indústria. As três principais classes de materiais são metais, cerâmicas e polímeros [75]. O padrão da indústria é um metal, pelo que será proposto um material compósito e um material cerâmico.

Neste subcapítulo o autor recorre à informação existente na literatura para caracterizar os três materiais e procura posteriormente validar os valores descritos na literatura através da execução de ensaios mecânicos. A baixa disponibilidade dos materiais mais exóticos, bem como o custo associado ao fabrico de provetes de teste em *Zirconia* e *Forged Carbon*® tornaram inviável que se levasse a cabo os ensaios mecânicos nestes materiais.

3.3.1. Descrição de materiais

Uma revisão bibliográfica foi levada a cabo e descrita neste subcapítulo da presente dissertação. Recolheu-se informação relativa às características mecânicas dos três materiais estudados mais relevantes para a construção de uma caixa de relógio, que são a tensão máxima admissível, dureza, resistência ao impacto, dureza superficial e leveza [76]. Quer o autor garantir a resistência do material a usar na caixa do relógio, a resistência ao impacto sem partir e a capacidade de resistir à abrasão normal de um objeto sujeito ao uso diário sem alterar o seu acabamento superficial.

3.3.1.1. AISI 316L

O aço inoxidável tem sido amplamente utilizado na relojoaria e na fabricação de caixas de relógio pelas suas propriedades mecânicas adequadas, técnicas de fabricação simples e preço relativamente baixo.

Enquanto outros metais como ouro, prata, titânio e bronze também têm sido utilizados, as ligas de aço inoxidável são o metal mais utilizado na fabricação de caixas de relógio de pulso.

O aço inoxidável AISI 316L (tabela 4) é o padrão da indústria, utilizado tanto em relógios de gama média (Seiko, Nixon, etc.) como em relógios de luxo de gama alta (Omega, Audemars-Piguet).

Muitos estudos têm sido desenvolvidos sobre o aço AISI 316L, um aço inoxidável austenítico de baixo carbono, caracterizando sua composição, comportamento á corrosão e suas propriedades mecânicas.

Tabela 4 - Composição química do aço inoxidável AISI 316L [77]

Aço AISI	%C max	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	%N	%Cu	Estrutura
316L	0,03	0,4	1,7	17,5	13	2,6		-	Austenita

Um dos aspetos mais críticos em uma caixa de relógio é a dureza, já que essa propriedade se relaciona diretamente com a capacidade do relógio de suportar o desgaste sem sofrer alterações no seu acabamento superficial e na sua estética. Um estudo demonstrou que a dureza do aço inoxidável AISI 316L não tratado é de 155 HV [78]. Um estudo diferente obteve valores diferentes de 195 HV a 289 HV, mas com cargas diferentes [79] (figura 32).

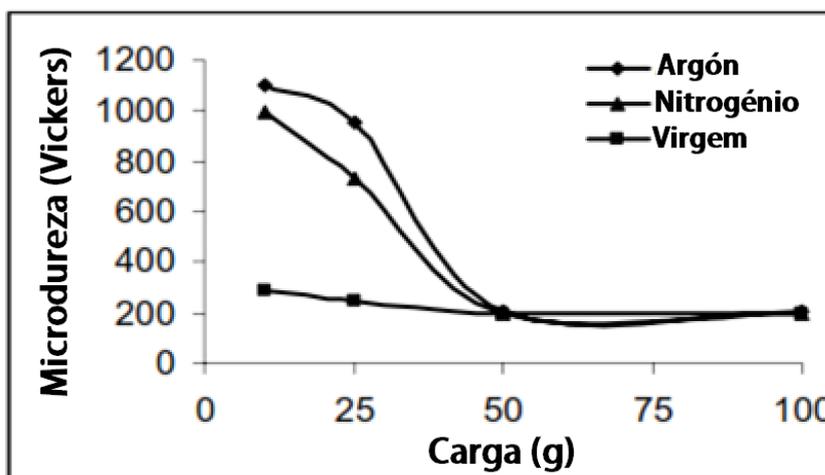


Figura 32- Microdureza de AISI 316L [79].

A resistência de um material pode ser definida de várias maneiras, mas para o propósito específico da fabricação de caixas de relógio, a resistência à tração, a resistência à fratura e / ou a resistência ao impacto serão revistas.

Tensão limite de rotura é o estado limite de tensão que leva à falha/fratura [80]. A fratura pode ser dúctil (fratura precedida de alongamento) ou frágil (fratura repentina).

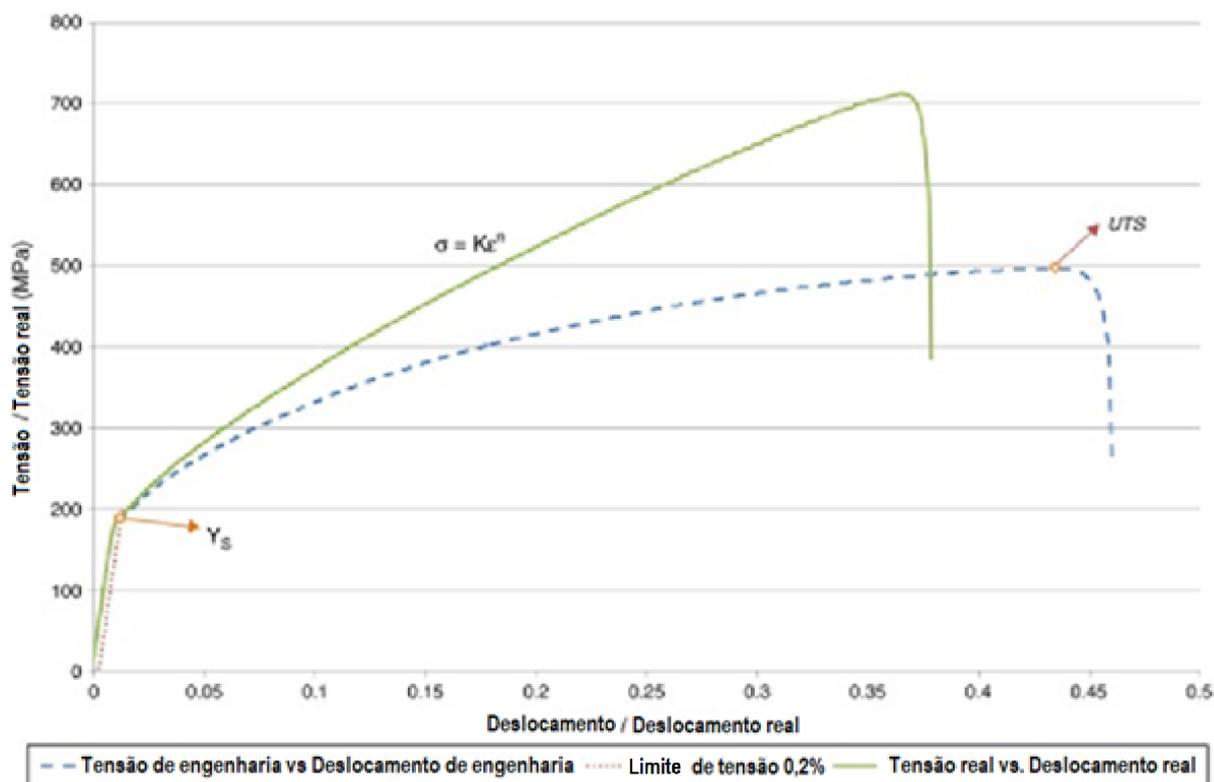


Figura 33- Gráfico de Stress-Tensão para o AISI 316L [81]

Na figura acima, está representado um gráfico tensão-deformação para provetes de aço inoxidável AISI 316L. O comportamento dúctil do aço inoxidável AISI 316L é claro, já que o provete passa primeiro por uma fase de deformação elástica, seguida por deformação plástica (alongamento) antes de finalmente falhar.

A tensão à fratura do AISI 316L é de 515 MPa e sua tensão do limite elástico é de 215 MPa [78].

Tenacidade é a propriedade de materiais para absorver energia até fraturar. É definido em Joules (J) como a quantidade de energia absorvida para uma determinada deformação (m^3).

Tabela 5 - Resultados de testes de impacto Charpy e Izod em provetes AISI 316L [78]

	Energia	Comentários
Impacto Charpy	103 J	V-notch 30°
Impacto Izod	150 J/m	21°C

Os testes de impacto Charpy e Izod são usados para determinar a resistência pela ASTM International, apresentando resultados em Joules (J) e Joule/metro (J/m) já que um é função do pendulo utilizado

e previamente definido e o outro da deformação pré-existente. O teste de Charpy compreende um pêndulo com um peso a uma altura determinada que é depois deixada cair no espécime. A diferença na altura (mostrada no mostrador) é a energia absorvida em Joules (J) [82].

Tenacidade à fratura é a propriedade de um material em resistir à propagação de uma falha pré-existente [83].

O fator de intensidade da tensão é uma função da carga, tamanho da falha e geometria estrutural. O fator de intensidade de stress pode ser representado pela seguinte equação:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a \beta}$$

Onde: K_I é a tenacidade á fratura em MPa^{0.5}

σ a tensão aplicada MPa

a é o tamanho da falha em metros

β é um fator de geometria da falha, diferente em cada amostra e é adimensional

A tenacidade à fratura determinada para o aço inoxidável AISI 316L varia entre 112-278 MPa.m^{0.5} [84].

Tabela 6 – Tabela-síntese das propriedades avaliadas para o AISI 316L

Material/ Propriedade	Dureza	Tensão máxima	Resistência á fratura	Impacto Izod	Densidade
AISI 316L	155 HV	515 MPa	112-278 MPa.m ^{0.5}	150 J/m	7,85g/cm ³

Pode-se constatar que o aço inoxidável AISI 316L é um material adequado para a fabricação de caixas de relógio, mas há áreas que o comportamento mecânico pode ser melhorado, como dureza para melhorar a capacidade do relógio de manter o mesmo acabamento superficial por mais de tempo e densidade para fazer relógios mais leves.

3.3.1.2. Forged Composite®

Os materiais compósitos tentam trazer o melhor de diferentes materiais, combinando-os. Muitas vezes combinam dois materiais com propriedades muito diferentes, como no caso do Polímero Reforçado com Fibra de Carbono (CFRP - Carbon Fiber Reinforced Plastics).

Estudos recentes têm sido feitos no sentido de identificar e desenvolver novos processos para fabricar peças em CFRP, especialmente métodos que não necessitem de autoclave e cuja disposição não seja feita por camadas [24]. Isto ajudará a reduzir os custos e aumentar a taxa

de produção em comparação com os antigos processos de disposição por camadas e cura em autoclave.

Peças foram executadas usando uma nova técnica, *Forged Composite*®, um processo de moldagem por compressão utilizando compostos para moldagem de fibra de carbono que podem criar peças mesmo com características geométricas complexas [24], exemplificado na figura abaixo.



Figura 34 – Braços de suspensão do Lamborghini Sesto Elemento em Forged Composite® [24]

Forged Composite® pode ser descrito como um sistema descontínuo de fibra de carbono, com fios distribuídos aleatoriamente entre camadas de resina de vinil-éster, que são moldados numa prensa aquecida por 5 minutos a uma temperatura que varia entre 132-160°C (270-320°F) [24]. É um material muito leve, com baixa densidade de apenas 1,47 g/cm³ [85].

Como este é um processo novo, mas os materiais (matriz e reforço) são semelhantes ao CFRP padrão e alguns dados ainda não estão disponíveis, como a sua dureza, para comparar com as outras opções, o CFRP padrão será considerado quando não houver informações suficientes para *Forged Composite*®.

A dureza da folha de CFRP foi medida usando uma escala de Vickers, como na Figura 35, obtendo um valor de 0.46GPa – 46.7HV [86].

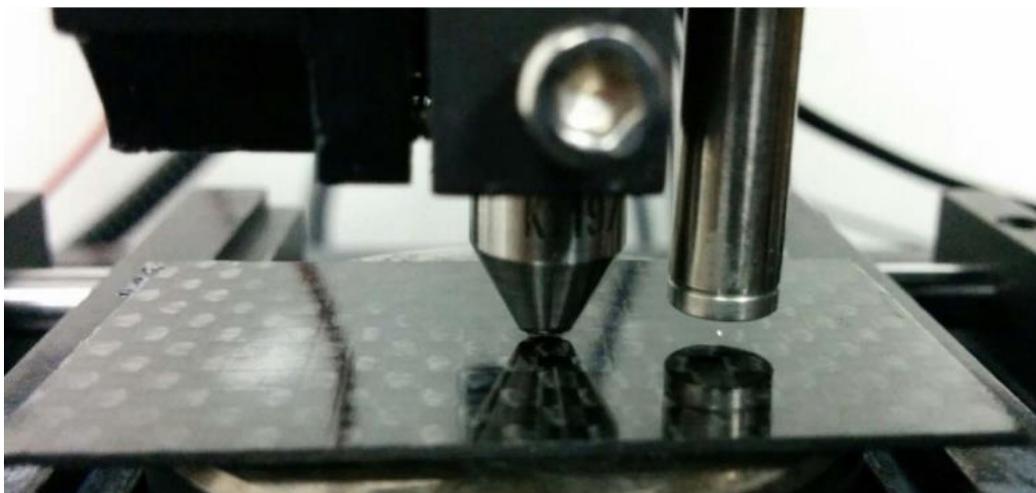


Figura 35 – Processo de indentação em folha de CFRP [86]

A tensão de rotura do *Forged Composite*® foi estudada e comparada com outros materiais [24], descritos os resultados na tabela 7. Nota para a tensão de rotura de *Forged Composite*® que é semelhante á tensão máxima do alumínio, e mais baixa que CFRP standard.

Tabela 7 – Propriedades de alumio e materiais compósitos [24]

Propriedades	Tensão de rotura (MPa)	Modulo de Young (GPa)
6xxx Alumínio	260 (deformação)	70.0
Prepreg 2x2 twill quais-isotropic	745	41.4
RTM stitched NCF Quasi-isotropic	634	34.5
Forged Composite®	246	33.8

A dureza foi medida usando o teste de Izod, de acordo com as especificações ASTM [85] (tabela 8). Os dados foram retirados do fabricante do material.

Tabela 8 – Resultados do teste Izod [85]

Teste	Norma	ft.lb./in.	J/m
Impacto Izod (entalhado)	ASTM D-256	20	1068

O espectro de materiais compósitos é muito amplo, mas é claro que existem materiais adequados para a caixa de relógio, como é o caso do *Forged Composite*® com propriedades (tabela 9) muito ergonômicas, exceto pela baixa dureza da superfície, que o torna propenso a arranhões.

Tabela 9 – Tabela-síntese das propriedades avaliadas para o *Forged Carbon*®

Material/ Propriedade	Dureza	Tensão de rotura	Resistência á fratura	Impacto Izod	Densidade
Forged Composite®	46,7 HV	246 MPa	n/a	1068 J/m	1.47g/cm3

3.3.1.3. Zirconia

Os materiais cerâmicos são uma classe de materiais caracterizados pela elevada dureza, quimicamente não reativos e de natureza frágil. Cerâmicos de engenharia fornecem resistência a altas temperaturas, baixo atrito e elevada resistência ao desgaste.

Dióxido de Zirconia é um cerâmico de engenharia com muito elevada resistência, mas na sua forma não estabilizada pode rachar devido a mudanças de fase induzidas por diferentes temperaturas [87]. É por isso que a forma mais comum de Zirconia são as suas formas estabilizadas ou parcialmente estabilizadas. Este subcapítulo vai focar-se em Zirconia Estabilizada com Ytria (YTZP), uma forma do material em fase tetragonal pura, muito forte, em grãos finos, cujas propriedades podem ser observadas na tabela 10.

A Tensão de Ruptura of YTZP situa-se entre os 550 MPa [88] e os 745 MPa [89]. Pela mesma razão já abordada, sendo que YTZP é um material frágil, não é provável que sofra deformações plásticas, mas que fracture, por isso vamos utilizar a tensão de ruptura para comparar com o aço inoxidável AISI 316L.

A dureza superficial de YTZP é muito elevada, atingindo valores de 1275HV e a sua resistência á fratura d YTZP é de $12.5 \text{ MPa.m}^{0.5}$ [88].

Tabela 10 – Tabela-síntese das propriedades avaliadas para a Zirconia

Material/ Propriedade	Dureza	Tensão de ruptura	Resistência á fratura	Impacto Izod	Densidade
YTZP	1250 HV	550 MPa	$12.5 \text{ MPa.m}^{0.5}$	n/a	6,07g/cm ³

3.3.2. Ensaio experimentais

No presente subcapítulo são descritos quais os ensaios realizados, bem como suas normas e quais os equipamentos utilizados.



Figura 36 – Provette montado em Zwick Z100

Realizou-se o ensaio à flexão em 3 pontos, segundo a norma ASTM E855-18(2013) para Ensaio à Flexão de Materiais Metálicos Planos Envolvendo Cargas Estáticas, por forma a obter a tensão máxima suportada pelo AISI 316L à deformação e o respetivo módulo de elasticidade (figura 36 e 37).

Foram executados testes de flexão de 3 pontos em laboratório com provetes de aço AISI316L, de geometria paralelepípedica com secção de 5mm x 4mm e 54mm de comprimento, produzidos por um

processo de electro erosão.

Foram feitos testes em 5 espécimes numa máquina de testes de marca Zwick e modelo Z100, com distância de 40mm entre apoios. O teste de flexão em três pontos consiste em fletir um provete apoiado em dois pontos fixos e pressionado ao meio por um punção equipado com um transdutor que mede a força aplicada. O punção é atuado por um servo com avanço constante, sendo assim possível identificar a deformação [90].

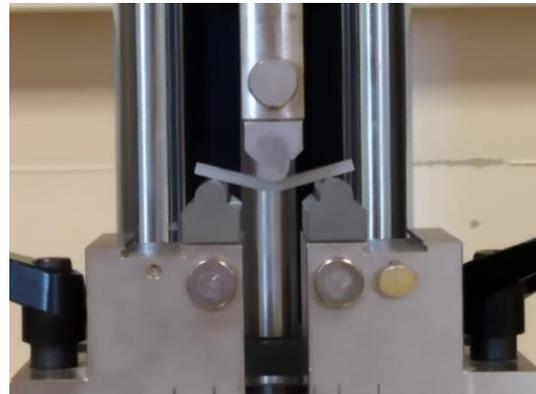


Figura 37 – Pormenor da deformação do provete em Zwick Z100

Com base nos valores de carga (P) e alongamento (ϵ) obtidos no aparelho durante o teste dos provetes, podemos calcular a tensão (σ_{\max}):

$$\sigma_{\max} = \frac{My}{I}$$

Onde:

M é o momento fletor em Newton.metros

y é o distância da linha neutra a um ponto no limite da secção em metros

I é o momento de inércia em metros⁴

σ_{\max} é a tensão máxima em Pascals

Podemos também calcular o módulo de Young recorrendo à seguinte equação [91]:

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI}$$

Onde:

P é a carga em Newtons

L é a distância de aplicação da força ao apoio mais próximo em metros

E corresponde ao módulo de Young em Pascais

I é o momento de inércia em metros⁴

δ é o deslocamento em metros

Para obter dados relativos à variação do módulo elástico em relação à temperatura do aço AISI 316L foi feito um teste de Análise Mecânica Dinâmica (DMA), em máquina Tritec 2000 DMA (figura 38), com 3 provetes de aço inoxidável AISI 316L, de comprimento igual a 52mm e secção de $2,2 \times 2,2$ mm, fabricados por electroerosão por fio. Os provetes foram dispostos com uma distância de 30mm entre apoios.

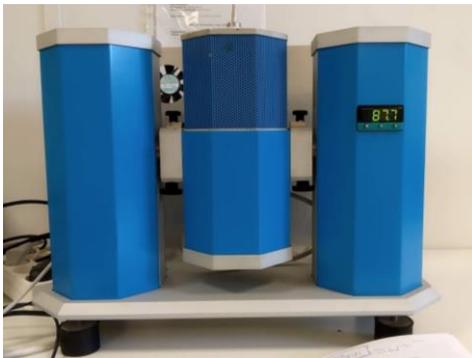


Figura 38 – Máquina de testes DMA Tritec 2000 DMA

Diferente do ensaio á flexão em 3 pontos, o ensaio DMA aplica uma vibração com uma carga que causa a flexão no regime elástico do provete. Durante o teste a temperatura vai aumentando, podemos então comparar a variação do módulo face á temperatura.

A frequência utilizada foi de 1Hz e a temperatura variou de 24,5°C até 300°C, a um rácio de 5°C por minuto.

4. Análise de Resultados e Design

4.1. Introdução e Enquadramento

A conceção e desenvolvimento de um novo produto deve seguir uma determinada ordem para evitar desperdiçar recursos e diminuir a tentativa e erro. Embora existam muitos métodos, neste caso específico o autor seguiu a ordem IDOV, que consiste em quatro fases distintas: Identificação, Design, Otimização e Verificação.

A fase de Identificação consiste em recolher o máximo de informação relevante ao projeto a ser desenvolvido, incluindo o cliente-tipo e suas necessidades, o mercado, concorrentes, métodos de fabrico, materiais, entre outras. O autor recorreu a metodologias de pesquisa ativa, entrevistas e questionários para identificar o máximo de variáveis e obter toda a informação relevante ao desenvolvimento de um novo relógio de pulso. Foi definido que material se adequaria melhor às necessidades através de comparação de propriedades de cada material e medindo contra o standard da indústria. Para identificar o conceito a desenvolver várias técnicas foram utilizadas como brainstorming e análise SWOT. Nesta fase foi também identificado o caminho a seguir através da produção de diferentes conceitos e seleção do conceito com mais mérito.

Durante a fase de Design, criou-se um conceito de acordo com as características exigidas e desenvolvido com as especificações adequadas. Desenvolveu-se a arquitetura do produto e o Design Industrial, focando no design para fabricação e design para sustentabilidade.

Na fase de Otimização procedeu-se a uma desconstrução do conceito numa montagem e posteriormente procedeu-se à melhoria de componentes individuais e suas relações mecânicas.

A última fase, Verificação, assentou na avaliação dos protótipos construídos e comparação do conceito final contra os concorrentes existentes no mercado.

4.2. Estudo de Benchmarking

O mercado de relógios de pulso vale 38,2 mil milhões de dólares nos 5 principais países exportadores: Suíça, Hong Kong, China, França e Alemanha [92] (figura 39). Além disso, os analistas da Technavio preveem que o mercado global de relógios de luxo cresça a uma Taxa de Crescimento Anual Composta de 2,98% durante o período de 2017-2021 [93].

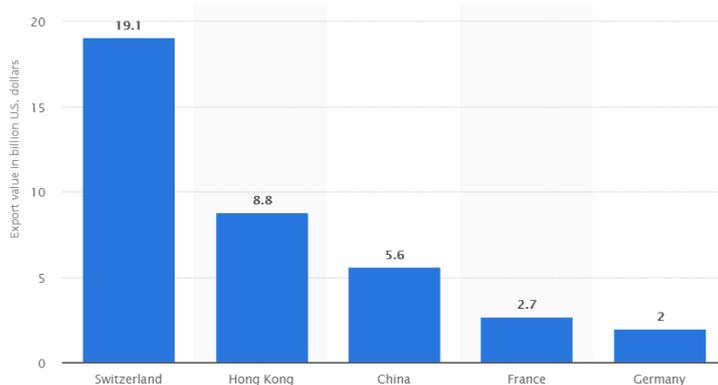


Figura 39- Exportação anual de relógios de pulso por país, em milhares de milhão de dólares US [92].

Há muitas ofertas, como Filippo Loreti, Daniel Wellington ou Liv Watches, cada uma definindo seu próprio mercado [94].

A primeira opera oferecendo a ideia de luxo acessível, oferecendo relógios de aparência luxuosa com mecanismos mecânicos asiáticos ou movimentos de quartzo suíços com foco numa população que não sabe o que faz um relógio de luxo ser considerado de luxo.

A Daniel Wellington tem uma abordagem direta, vendendo relógios minimalistas inspirados em relógios vintage de marcas conhecidas com movimentos de quartzo a baixo preço. Eles concentram-se no que é chamado de "relógios de moda" e não afirmam ser uma marca de luxo.

Liv Watches, é uma marca com sede na Suíça, usando movimentos suíços, tanto de quartzo quanto mecânicos. Eles oferecem designs únicos e são os mais caros das marcas estudadas atualmente no mercado.

Conclui-se que nenhum dos principais concorrentes no nicho de mercado procurado possui na sua oferta um relógio de pulso com materiais exóticos o que abre lugar para colocar um produto diferenciado nesta gama de mercado, aumentando a desejabilidade do produto proposto, principalmente junto dos colecionadores.

4.3. Necessidades dos Clientes

Para identificar as necessidades dos clientes o autor produziu um questionário, que foi distribuído em redes sociais nos principais grupos de colecionadores e aficionados de relojoaria e fóruns de discussão, mas também por população sem histórico relevante referente a relojoaria. Entrevistas foram levadas a cabo com colecionadores para identificar possíveis falhas no questionário, mas também para validar os resultados obtidos.

A resposta foi moderada, com 67 respostas, embora apenas 51 respostas tenham sido contabilizadas, uma vez que houve uma entrada repetida 16 vezes.

4.3.1. Cliente-tipo

Os dados coletados sobre o mercado atual, quer por pesquisa quer por questionários, podem ser consultados abaixo:

- Homens constituem 91% da população estudada
- A maioria dos compradores tem entre 18 a 28 e 28 a 38 anos (figura 40).

Age

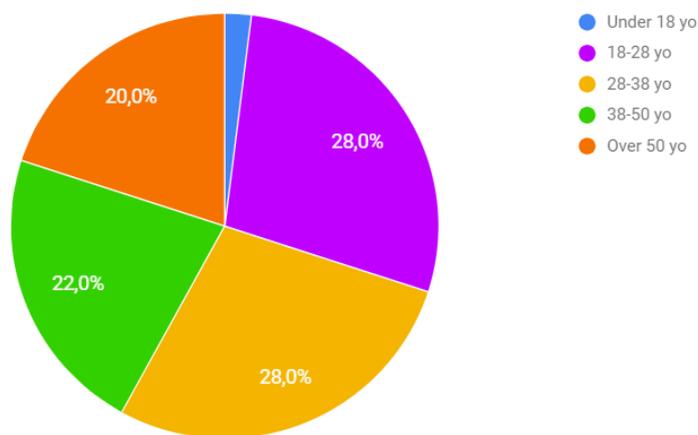


Figura 40- Consumidores por faixas etárias

- O rendimento médio anual para ambos os grupos etários é entre 30.000 a 60.000\$/ano (tabela 11)

- A probabilidade de um cliente comprar um relógio em relação ao seu valor mostra que o mercado mais significativo está na faixa de 600 a 1.200\$, mesmo vendendo números mais baixos, o valor acrescentado compensa.

Tabela 11 - Idade versus Orçamento

Idade	Menos de 250\$	250-600\$	600-1200\$	1200-1800\$	1800-3000€	Mais de 3000\$
Menos de 18	1	0	0	0	0	0
18-28	5	2	4	1	0	0
28-38	7	6	1	0	0	0
38-50	4	4	2	0	0	0
Mais de 50	1	3	2	1	0	3
	18	15	9	2	0	3
	\$2 250,00	\$6 375,00	\$8 100,00	\$3 000,00	\$0,00	\$9 000,00

- Apesar de alguns estudos sugerirem que o mercado asiático tem muita preponderância no mercado de relógios de luxo, a pesquisa efetuada no âmbito deste trabalho mostrou que os europeus e os norte-americanos correspondem a 92,6% do mercado em causa (figura 41).

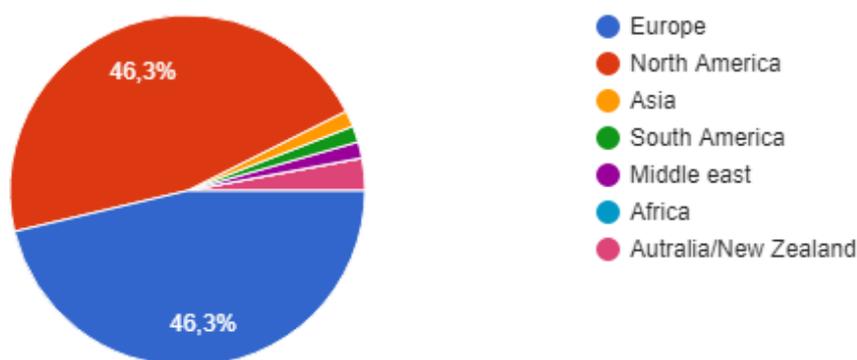


Figura 41- Dispersão geográfica dos consumidores

- A maior parte da população estudada trabalha em áreas relacionadas com engenharia e gestão.

4.3.2. Faixa de preço

Olhando para os dados da pesquisa, observa-se que um preço de 600 a 1200\$ é o mais valioso em termos de preço versus números vendidos (figura 42). No entanto, com a pesquisa do mercado existente, foi detetado um valor médio menor, o que exigiu uma análise mais detalhada dos dados coletados.

How likely are you to buy a watch in a Kickstarter campaign, based on it's price point (assume quality is proportional to the price)

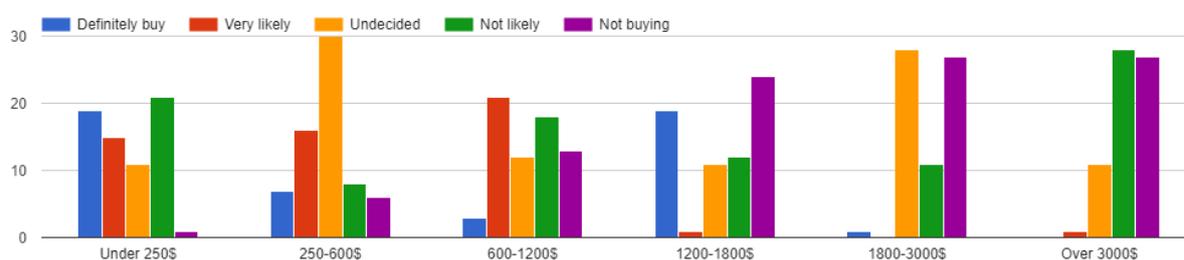


Figura 42-Probabilidade de comprar face ao preço (nota para o erro no preço 1200-1800\$, que reflete uma entrada repetida 17 vezes e não é representativa)

Pode-se então observar que os valores mais baixos têm uma maior predominância na categoria “Definitivamente compra”, mas a categoria “Bastante provável” aumenta com o valor, sugerindo que o comprador de gamas mais altas estuda melhor a possível compra antes de se decidir. Convertendo estas classificações em valores numéricos da seguinte forma: “Definitivamente compra” -5, “Bastante provável” -4, “Indeciso” -3, “Pouco provável” -2, “Não compra” -1, pode-se definir um valor de probabilidade de compra para cada gama de valores (tabela 12).

Tabela 12 - Avaliação numérica da probabilidade de compra

<250\$	250-600\$	600-1200\$	1200-1800\$	1800-3000€	>3000\$
4,0	3,18	2,46	2,07	1,82	1,79

À medida que o preço sobe, a probabilidade de compra diminui, mas devido ao valor mais elevado das categorias mais altas compensa vender menos unidades a um valor mais elevado. Determinou-se uma gama de preços de 600 a 1200\$, oferecendo descontos especiais na fase de

pré-reserva e crowdsourcing, com um valor de venda a retalho final de cerca de 900, oferecendo possibilidades de personalização que podem aumentar o valor do relógio até aos 1200\$.

4.3.3. Características do produto

Para determinar as características do produto, identificaram-se as exigências do cliente recorrendo aos mesmos questionários (figuras 43 a 50 e tabelas 13 a 16).

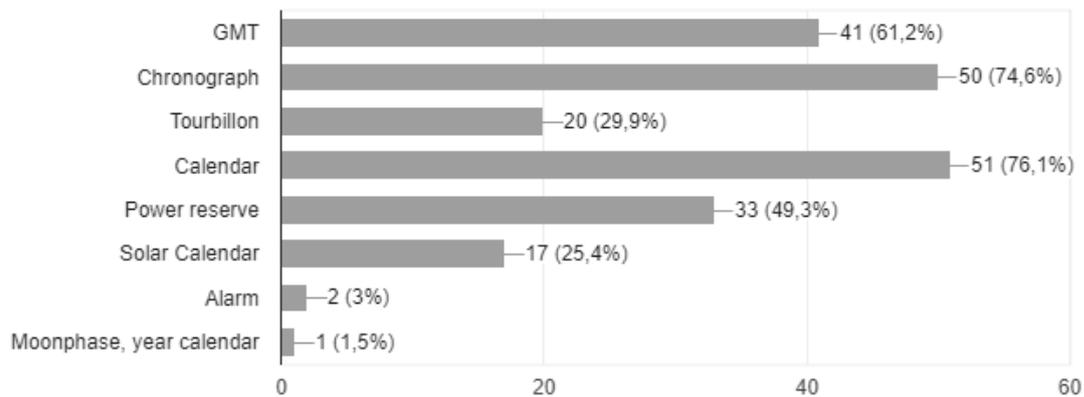


Figura 43 – Complicações que o cliente-tipo já possui

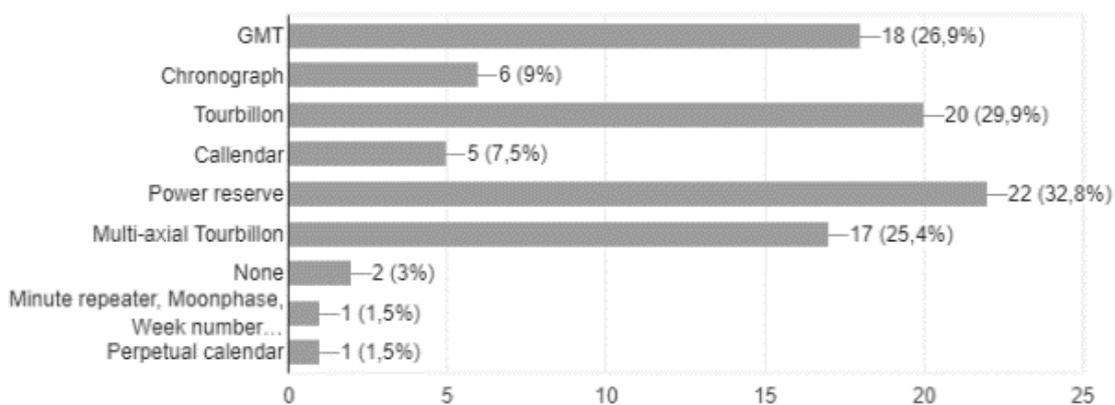


Figura 44 - Complicações desejadas pelo cliente-tipo, mas que não

O cliente-tipo já possui várias complicações e as que deseja são simples e de fácil implementação num mecanismo standard (GMT, também conhecido como segunda zona horária e mostrador de reserva de marcha) ou demasiado caras para o preço estipulado (tourbillon).

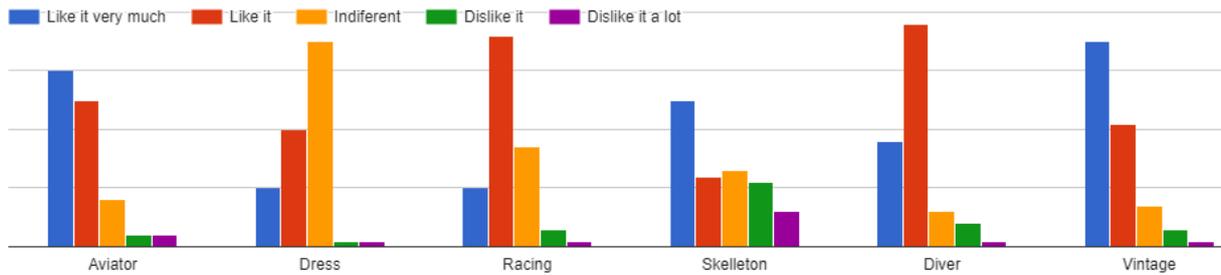


Figura 45- Estilos de relógios mais desejados pelo cliente-tipo

Atribuindo valores quantitativos pode-se traduzir o gráfico para uma tabela:

Tabela 13 - Avaliação dos diferentes estilos de relógio

Piloto/Aviador	Elegante	Corridas	Esqueletizado	Mergulho	Vintage
3,92	3,74	3,68	3,12	4,00	4,08

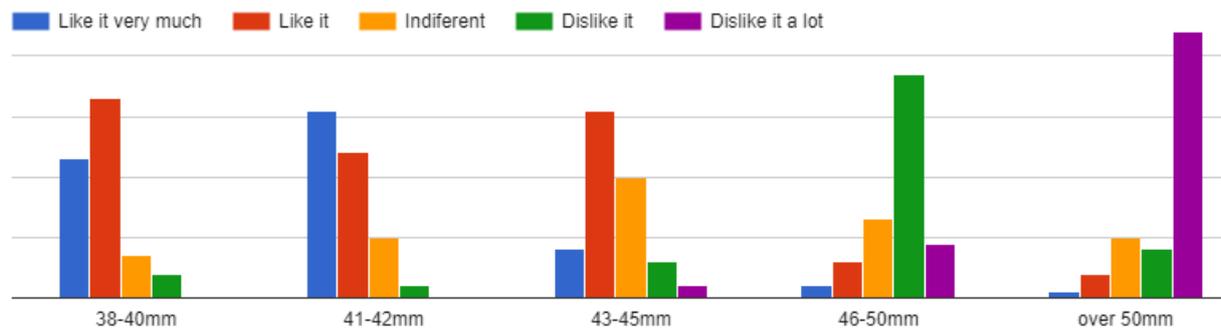


Figura 46 – Tamanho de caixa mais desejado pelo cliente-tipo

Transformando para uma tabela quantitativa:

Tabela 14 - Avaliação do desejo referente ao tamanho da caixa do relógio

38-40mm	41-42mm	43-45mm	46-50mm	>50mm
4,18	4,04	3,38	2,38	1,82

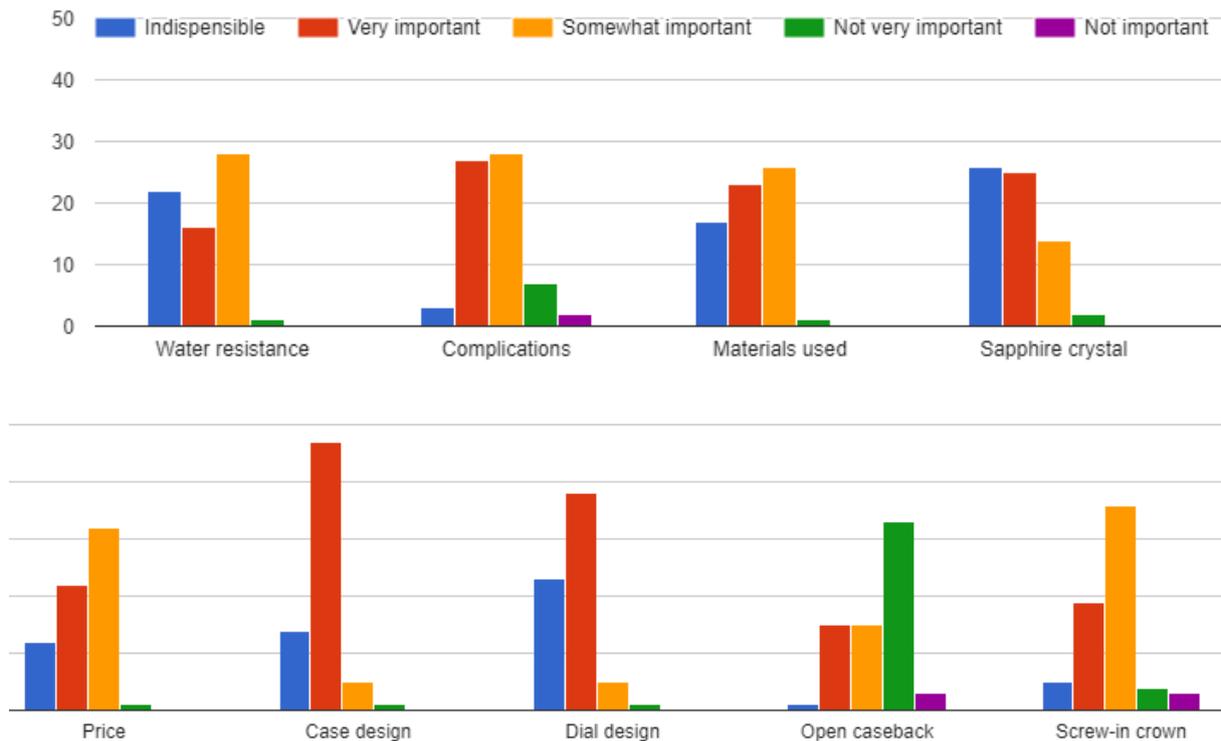


Figura 47 – Características mais importantes para o cliente-tipo

Repetindo o processo de transformar o gráfico numa tabela quantitativa:

Tabela 15 – Avaliação das características mais importantes para o cliente-tipo

Resistência à submersão	Complicações	Materiais	Vidro safira	Preço	Design da caixa	Tampa transparente	Botão de rosca
3,14	4,12	3,84	3,90	4,14	4,32	2,90	3,34

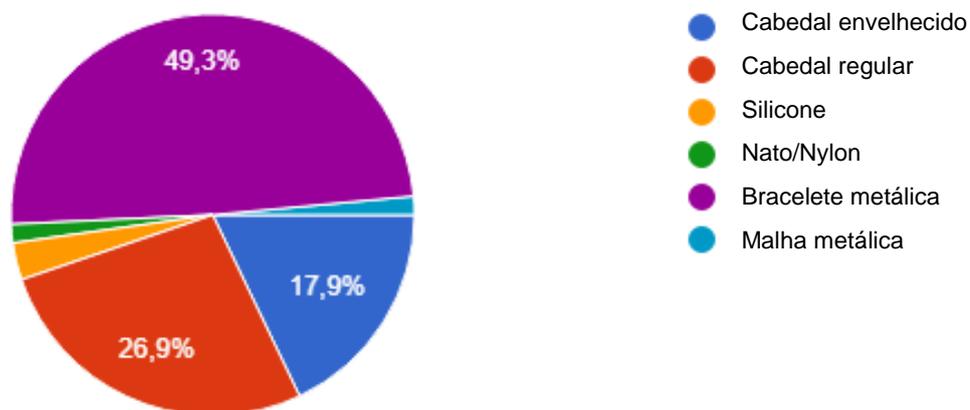


Figura 48 – Preferência de estilo de bracelete tendo em conta o aspeto estético

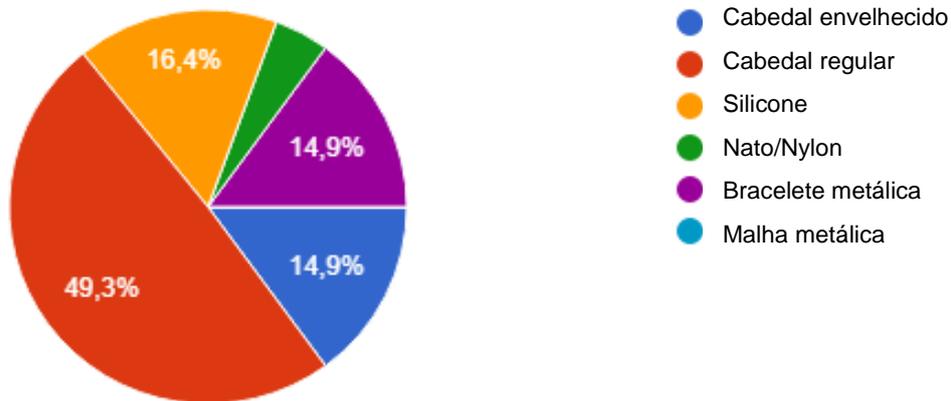


Figura 49 - Preferência de estilo de bracelete tendo em conta o conforto

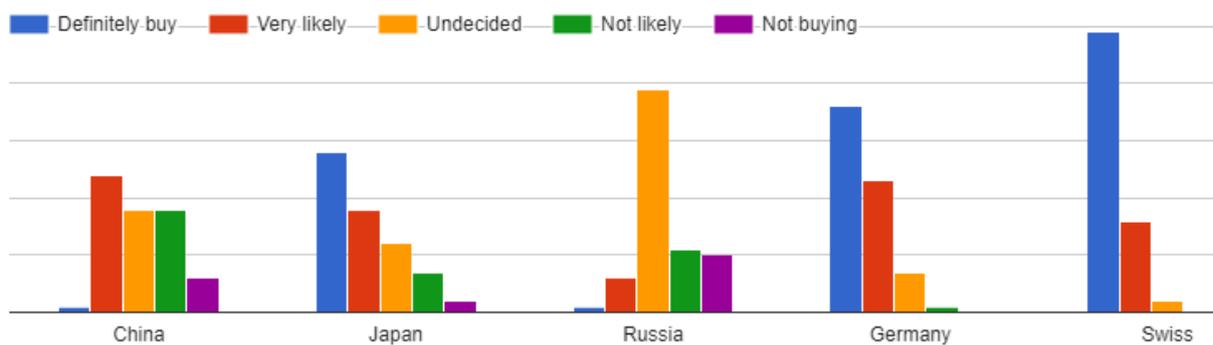


Figura 50 – Preferência do mecanismo tendo em conta o país de origem

Repetindo o processo de transformar o gráfico numa tabela quantitativa:

Tabela 16 – Avaliação do desejo do cliente-tipo tendo em conta o país de origem do mecanismo

China	Japão	Rússia	Alemanha	Suíça
2,72	3,52	2,70	4,22	4,48

4.4. Especificação de Projetos

O subcapítulo de Especificação de Projetos prevê a seleção das especificações de acordo com o estudo realizado até este ponto para construir uma base de desenvolvimento para a geração de conceitos.

Por existir bastante oferta por parte dos fornecedores de mecanismos de corda com elevado grau de qualidade e a preços bastante competitivos, não é viável para este projeto que se desenvolva o mecanismo do relógio. Seria um exercício bastante dispendioso para chegar aos níveis de qualidade oferecidos pelos fornecedores, sem que houvesse valor acrescentado aos olhos do consumidor que prefere um mecanismo com história comprovada.

De acordo com os dados gerados na pesquisa bibliográfica o consumidor-alvo não atribui às tradicionais marcas de luxo o valor acrescentado para justificar o valor premium que estas pedem. No entanto, os dados obtidos através dos questionários mostram que o país de origem do mecanismo contribui para o aumento da intenção de compra. Por este motivo, o mecanismo deverá ser de origem suíça, compatível com módulos de segunda zona-horária e indicador de reserva de marcha. Estes módulos podem ser oferecidos como um extra com um preço acrescido. Por se enquadrar nestes critérios, o mecanismo escolhido é o Sellita SW200-2.

Mais uma vez recorrendo aos dados retirados da pesquisa de mercado, nomeadamente o benchmarking, o questionário e as entrevistas, definiu-se que a caixa deverá ter uma dimensão de 40 a 41mm de diâmetro, e resistência à submersão, com classificação mínima de 10 bar.

A literatura sugere que o cliente-alvo procura funcionalidade e características favoráveis á performance do relógio nas funções que lhe compete. As respostas aos questionários comprovam que o consumidor-tipo valoriza as características e especificações com funcionalidade clara, como é o caso do vidro em safira, que é muito mais resistente ao risco pela sua dureza superior, e o botão de ajuste das horas com rosca, que visa aumentar a robustez física e melhorar a resistência á submersão.

De acordo com o estudo de mercado, determinou-se que um design vintage era desejado, bem como características estéticas como a tampa traseira com vidro, deixando em exposição o mecanismo.

Será selecionada uma bracelete de cabedal, pelo conforto, mas também para manter o preço-alvo, já que o produto final deverá ter um valor de construção tal que permita ser vendido com lucro abaixo do preço-alvo.

4.5. Geração de Conceitos

Ao longo do presente subcapítulo descrevem-se os primeiros mapas conceptuais com característica e arquiteturas propostas. Avalia-se a bibliografia pesquisada, estudo de benchmarking, as entrevistas e o estudo de mercado para gerar diferentes conceitos de design.

Estudando a bibliografia, percebemos que existe uma grande oferta no mercado de relógios com diferentes geometrias e componentes estéticos.

Com base nos conceitos estudados para cada área de características estéticas do relógio, gerou-se um mapa de conceitos seguindo uma abordagem de brainstorming de ideias e conceitos.

Com o mapa de conceitos listado, o autor procurou definir diferentes conjuntos, por forma a descartar as combinações que não se adequassem ao projeto proposto e selecionar as combinações mais promissoras.

Encontra-se na página seguinte, na figura 51, o esquema gerado como mapa de conceitos, listando as diferentes abordagens propostas para cada área específica do design estético do relógio a ser desenvolvido no âmbito do trabalho descrito nesta dissertação.



Figura 51 – Mapa conceitual de ideias propostas após revisão bibliográfica

De acordo com os estudos de mercado que foram feitos, verificou-se que o estilo de relógio mais desejado é o “Vintage”, um design que remeta para tempos mais simples e com apelo estético inegável. Foram selecionadas formas simples para a geração de conceitos preliminares: circular e “almofada”, uma variante quadrada mais harmoniosa.

A robustez do relógio é também um fator desejável, já que o consumidor-alvo vê o relógio como um investimento e isso é notório pela importância dada a características como a resistência à submersão e à existência de um botão afinador dos ponteiros protegido por rosca interna. Por este motivo optou o autor por aplicar um design proeminente em ambas as propostas iniciais para o aro, em que este toma uma parte significativa do apelo visual do relógio.

Apurou-se através da pesquisa de mercado e entrevistas que era desejado um design simples e harmonioso, descartando por isso as opções mais radicais para os suportes, ou seja, a não existência de suportes ou os designs angulares. Dois conceitos de caixa diferentes foram produzidos (figuras 52 e 53) diferindo principalmente na geometria do aro e na abordagem aos suportes da bracelete.

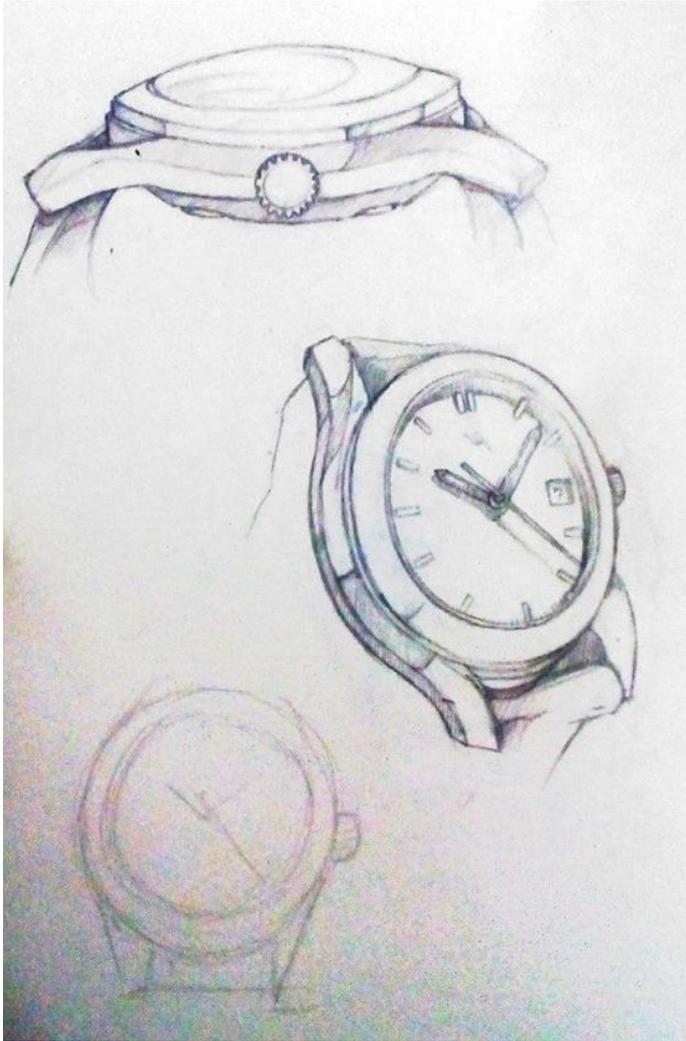


Figura 52 – Esboços do primeiro conceito

Uma que é circular com suportes de bracelete clássicos, bordas chanfradas e um aro redondo, espesso e de altura média. O relógio inteiro é apenas ligeiramente curvado com um estilo aviador/vintage.

O segundo design é o de uma caixa de tipo integral, com suportes de bracelete integrados na forma da caixa. Um bisel grosso e alto com uma forma retangular extremamente arredondada foi projetado. O bisel é chanfrado e o relógio tem um vestido vintage inspirado nos anos 70.

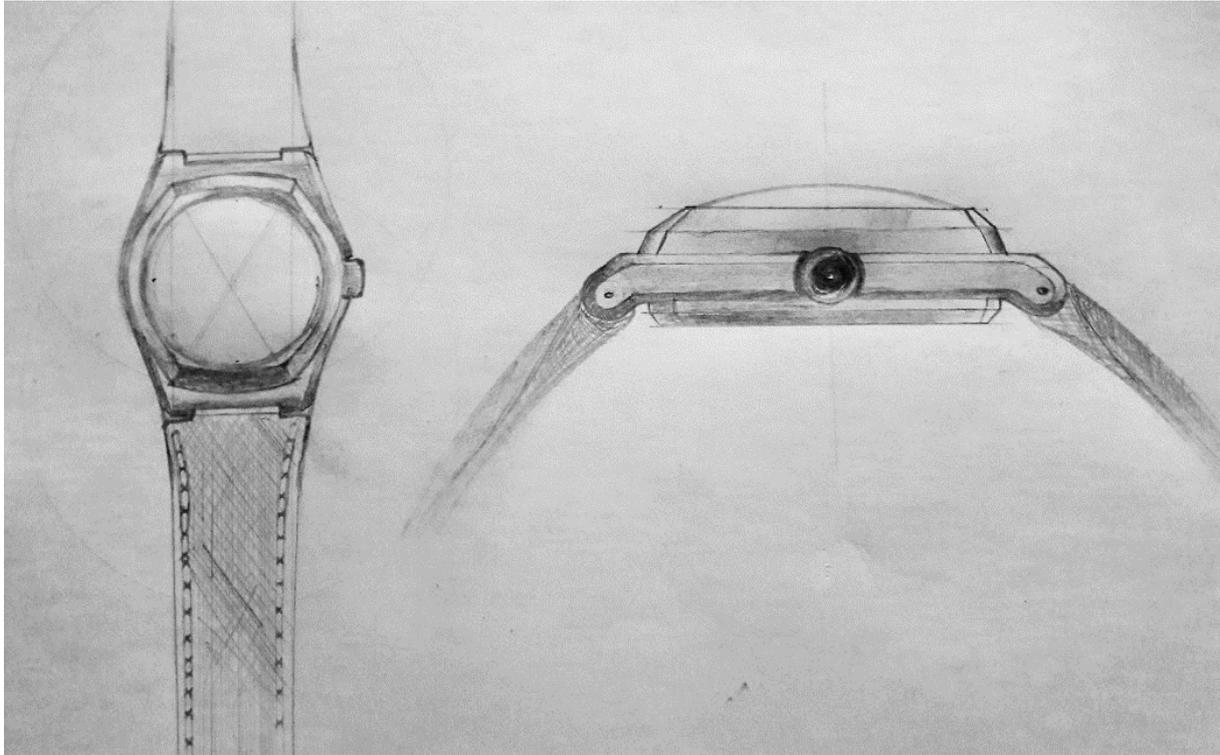


Figura 53 – Sketches para um conceito inspirado nos anos 70

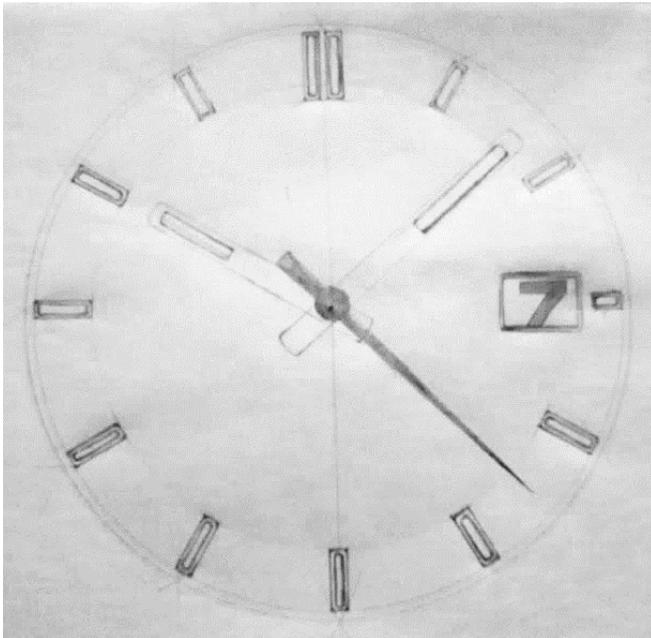


Figura 54 - Esboço inicial do design para o mostrador

Quanto ao mostrador, as entrevistas validaram os resultados obtidos no estudo de mercado, e embora durante a fase de benchmarking tenham sido encontrados nos concorrentes mostradores com um design complicado, intrusivo de baixa legibilidade, os resultados obtidos neste estudo apontam que a preferência é um design voltado para a funcionalidade e intemporalidade. Por isso os conceitos desenvolvidos seguem uma linha de simplicidade e legibilidade com marcadores simples e visíveis, acompanhados por ponteiros do mesmo estilo.

4.6. Seleção de Conceitos

Na fase de seleção de conceitos o autor procurou identificar os aspetos de design obtidos durante a geração de conceitos para selecionar as características de arquitetura desejadas e produzir dois modelos distintos de relógio de pulso que respeitassem as especificações anteriormente definidas.

Do ponto de vista estético, ambos os conceitos gerados cumprem os requisitos definidos aquando da fase de Identificação. Mesmo a nível de entrevistas foi impossível ao autor coletar informação que permitisse selecionar um conceito em detrimento do outro. Por este motivo, decidiu o autor manter e desenvolver os dois conceitos.

Por outro lado, persistiu a necessidade de definir entre as propostas de materiais qual a mais promissora. Neste sentido, sintetizaram-se os valores característicos das propriedades mais relevantes dos materiais para a construção da caixa de um relógio de pulso a partir dos dados identificados na literatura (tabela 17) e efetuou-se uma análise SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats/Forças, Fraquezas, Oportunidades, Ameaças) (tabelas 18, 19, 20).

Tabela 17 – Tabela de propriedades para o AISI 316L, Forged Composite® e YTZP

Material/ Propriedade	Dureza	Tensão máxima	Resistência á fratura	Impacto Izod	Densidade
AISI 316L	155 HV	515 MPa	112-278 MPa.m ^{0.5}	150 J/m	7,85g/cm ³
Forged Composite®	46,7 HV	246 MPa	n/a	1068 J/m	1.47g/cm ³
YTZP	1250 HV	550 MPa	12.5 MPa.m ^{0.5}	n/a	6,07g/cm ³

AISI 316L

Forças <ul style="list-style-type: none">• Robusto• Resistente à submersão• Fabricação fácil	Fraquezas <ul style="list-style-type: none">• Desgaste• Peso
Oportunidades <ul style="list-style-type: none">• Diferentes acabamentos superficiais• Revestimentos	Ameaças <ul style="list-style-type: none">• Perceção de valor

Tabela 18 – Análise SWOT do AISI 316L como material para caixa de relógio

Calculou-se um valor comparativo de +3; -2; +2; -1, totalizando +2 para o aço inoxidável AISI 316L.

Forged composite®

Forças <ul style="list-style-type: none">• Robusto• Peso• Fabricação fácil• Estética única	Fraquezas <ul style="list-style-type: none">• Desgaste• Não resistente á submersão
Oportunidades <ul style="list-style-type: none">• Revestimentos	Ameaças <ul style="list-style-type: none">• Perceção de valor

Tabela 19 - Análise SWOT do Forged Composite® como material para caixa de relógio

No caso do Forged Composite®, determinou-se um valor comparativo de +4; -2; +1; -1, totalizando +2.

Zircónia

Forças <ul style="list-style-type: none">• Robusto• Leve• Resistente ao desgaste• Resistente à submersão	Fraquezas <ul style="list-style-type: none">• Custo de fabrico
Oportunidades <ul style="list-style-type: none">• Perceção de valor	Ameaças <ul style="list-style-type: none">• Pode partir

Tabela 20 - Análise SWOT do YTZP como material para caixa de relógio

O Dióxido de Zircónio Estabilizado com Ytria obteve um valor comparativo de +4; -1; +1; -1, totalizando +3.

Com base nesta análise, determinou-se que YTZP seria o material mais adequado para a fabricação da caixa do relógio, com um valor de +3, enquanto que o aço inoxidável AISI 316L ou o Forged Composite ® obtiveram um valor inferior de +2.

Sintetizando a avaliação, o YTZP é um material com excelentes propriedades para a construção de um relógio de pulso, com boa resistência ao desgaste, robusto, com valor estético e com poucas desvantagens face aos materiais concorrentes, sendo por isso selecionado para a execução deste projeto.

4.7. Teste de Conceitos

Durante a fase de Design é relevante verificar que os conceitos desenvolvidos estão de acordo com os fins a que o projeto se propõe. Caso não se verifique que os requisitos estão a ser cumpridos deve-se reavaliar o projeto, identificar as falhas e efetuar uma revisão dos pontos com performance inferior ao desejada.

Nesse sentido foram testados os conceitos a nível estético e de materiais utilizando diferentes técnicas e metodologias. Os conceitos estéticos foram avaliados por meio de um *focus group*, a quem foi apresentado protótipos virtuais na forma de renderizações fotorealísticas dos dois conceitos desenvolvidos anteriormente. Foram efetuados ensaios mecânicos para validar as propriedades características dos materiais apuradas na literatura.

O *focus group* foi composto por seleção pelo autor, e incidiu principalmente sobre elementos relevantes nas comunidades de aficionados por relojoaria, desde mercados de gama alta a nichos de mercado como as micro-brands. Foram apresentados os conceitos de forma individualizada pelo autor aos selecionados para o *focus group*, e recolheu-se posteriormente o seu feedback. A resposta foi bastante positiva, inclusive a maior parte dos entrevistados nesta fase manifestou intenção de compra. Considerou o autor que os conceitos estavam validados. Continuou a não haver uma clara preferência por um dos conceitos em detrimento do outro.

A nível de materiais o teste de flexão em 3 pontos levado a cabo na duração deste estudo produziu um conjunto de dados a partir dos quais foram calculados os valores de tensão máxima e módulo de elasticidade (módulo de Young) do material estudado, o aço inoxidável AISI 316L (figura 55).

Foi também efetuado um ensaio de Análise Mecânica Dinâmica, no sentido de avaliar a mudança de propriedades do aço AISI 316L consoante a variação de temperatura, já que o relógio pode ser exposto a temperaturas diferentes e a caixa deve proteger os componentes internos independentemente da temperatura à qual está exposta. Devido às normas seguidas, o teste foi feito até aos 300°C, embora se deva referir que não é esperado que o relógio seja exposto a temperaturas superiores a 50°C, no entanto admite-se que este possa ultrapassar essa temperatura em caso de exposição prolongada.

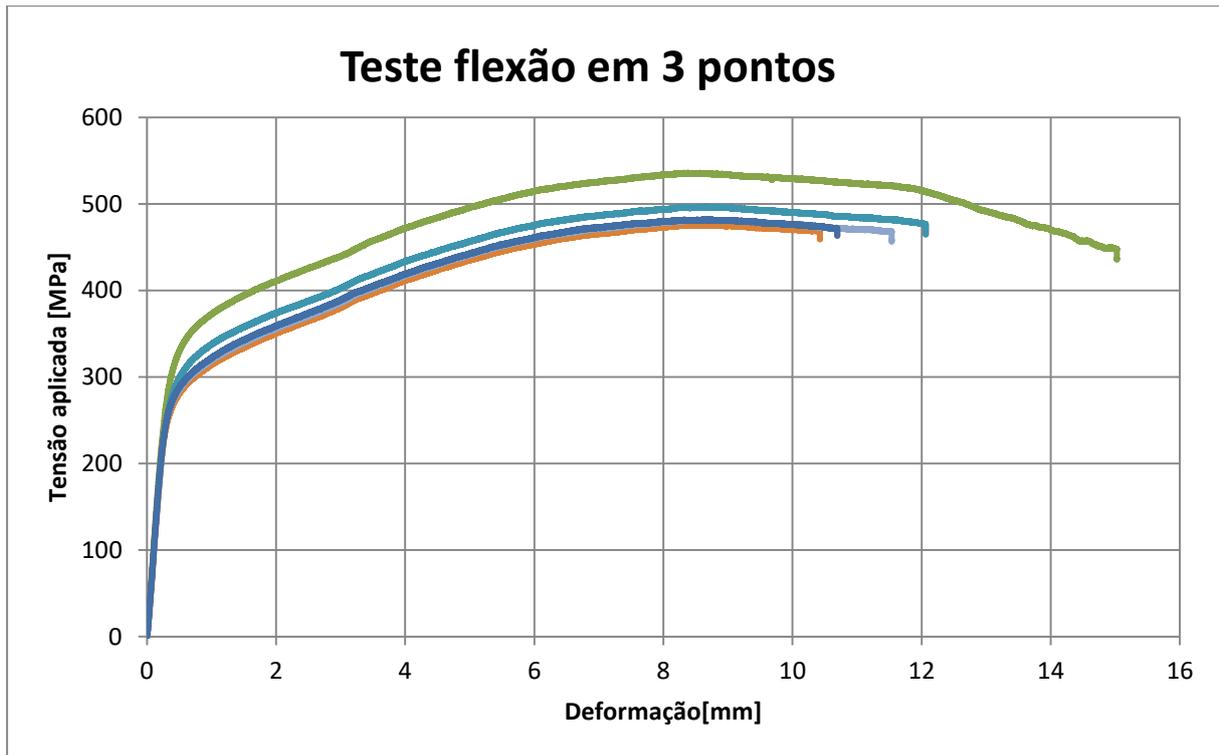


Figura 55 – Gráfico de tensão/deslocamento dos provetes de AISI 316L obtido no teste de flexão em 3 pontos

Como o módulo de Young (E) é uma constante na fase elástica da curva de tensão/deslocamento, sabemos que é igual ao declive da mesma. Aplicando uma regressão linear aos gráficos obtidos, aproximando a linha de tendência apenas á fase elástica, obtemos o valor do módulo de Young (E).

Na seguinte tabela apresentam-se os dados obtidos:

Tabela 21 - Tabela de resultados do teste de flexão em 3 pontos, Carga máxima (P), Tensão máxima (σ_{\max}), Elongamento à tensão máxima (ϵ), Módulo de Young (E) e R^2

Material	P [N]	σ_{\max} [MPa]	ϵ [mm]	E [GPa]	R^2
Provete 1	1347,4	1005,1	8,4	99,7	0,9996
Provete 2	1249,4	931,9	8,7	93,2	0,9996
Provete 3	1197,2	892,6	8,7	91,4	0,9999
Provete 4	1211,9	903,1	8,7	88,8	0,9998
Provete 5	1211,7	903,9	8,7	92,6	0,9996
Média	1243,5	927,3	8,6	93,1	0,9997
Desvio Padrão	61,2	45,9	0,1	4,0	0,0001

Com o teste DMA determinou-se o módulo de memória em relação á temperatura dos provetes de aço inoxidável AISI 316L (figura 56).

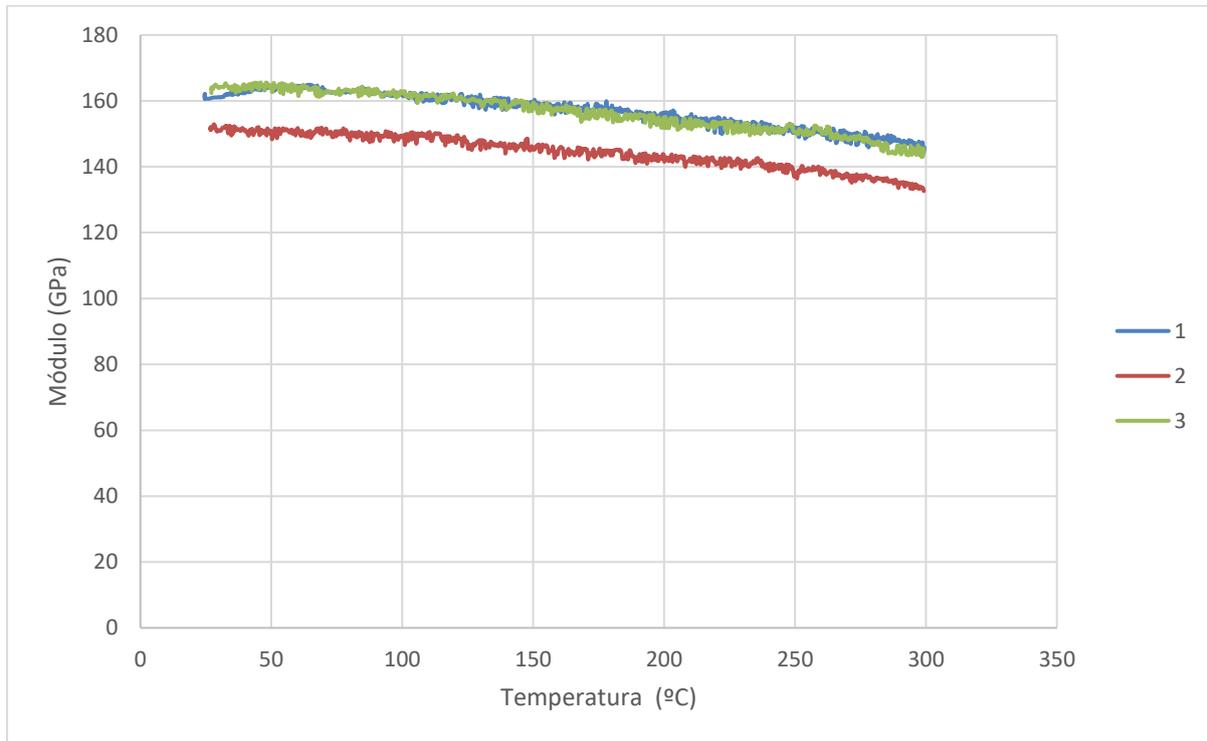


Figura 56 – Gráfico de variação do módulo de memória em função da temperatura dos provetes de AISI 316L obtido no teste DMA

Tabela 22 – Tabela de resultados do módulo elástico em relação á temperatura

Material	Módulo [GPa]	
	24,5°C	50°C
Provete 1	160,5	165,1
Provete 2	151,6	152,9
Provete 3	162,4	165,6

Os dados obtidos revelam que o módulo aumenta até aos 50°C, atingindo um valor máximo e começando depois a diminuir. As diferenças do módulo nas temperaturas de trabalho típicas de um relógio de pulso são reduzidas (tabela 22).

Infelizmente, devido ao custo e pouca disponibilidade dos materiais alternativos descritos no âmbito deste trabalho foi impossível realizar nestes os, muito necessários, ensaios mecânicos.

O autor considera importante a execução destes ensaios, mas considera ainda que a validade da pesquisa bibliográfica justifica a decisão tomada de seguir este projeto considerando o YTZP o material com mais mérito para a construção da caixa do relógio cujo desenvolvimento é descrito neste trabalho.

4.8. Arquitetura do Produto

Neste subcapítulo o autor descreve as considerações levadas a cabo a nível da arquitetura do relógio de pulso a ser fabricado de acordo com as práticas que considera mais corretas para que as especificações definidas sejam atingidas ou superadas.

Numa primeira fase, foi definido o posicionamento do mecanismo dentro dos limites dimensionais desejados, por forma a que existisse o espaço necessário para as tolerâncias mecânicas dos componentes móveis do mecanismo em relação aos vidros superior e inferior.

A caixa foi desenhada dentro dos limites geométricos impostos pelas especificações definidas na fase de Identificação, não excedendo um diâmetro nominal de 41mm.

O conjunto do mecanismo e mostrador entra pela abertura inferior, e é seguro por um anel de retenção, conforme exemplificado na figura abaixo.

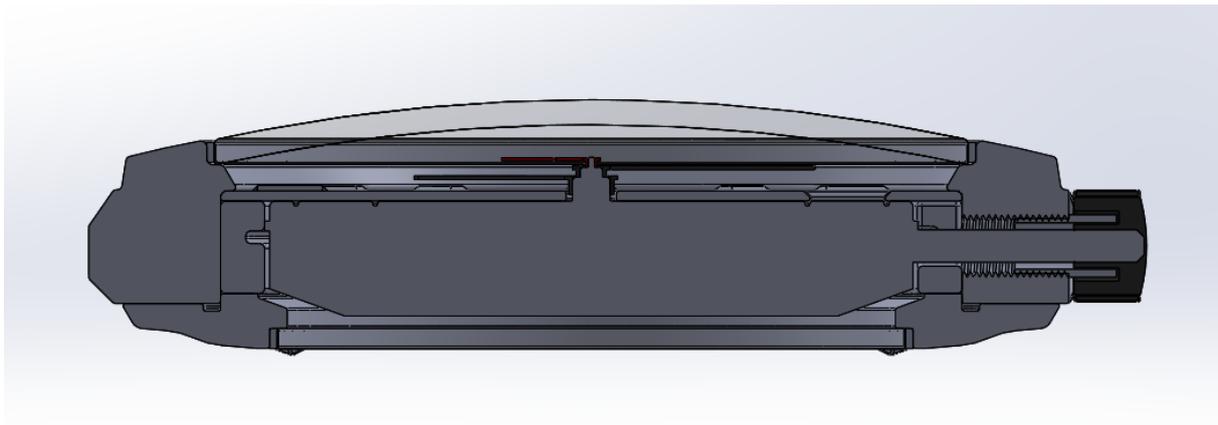


Figura 57 – Vista em secção do primeiro projeto de conceito inicial

A resistência à submersão é garantida por um o-ring, cuja caixa está inserida na tampa inferior, um I-ring entre os vidros e a sua superfície de encaixe, na caixa e na tampa inferior, e também por um sistema de botão de ajuste roscado (figura 57).

Em ambos os conceitos a tampa inferior é fixada por parafusos, seis M1x0,5 no conceito circular e quatro M1,5x0,75 no conceito em “almofada”.

Para cumprir com a gama de preços a que se propôs este produto, é desejável recorrer a componentes disponíveis no mercado sempre que possível, já que na maior parte destes componentes não existe valor acrescentado em ser o fabricante do relógio a produzi-los.

Exemplos destes componentes são o botão de ajuste das horas, os vidros e parafusos bem como os elementos de vedação. Também podemos contar entre os componentes de compra estandardizada, os elementos de fecho da bracelete e os encaixes das mesmas.

O autor decidiu utilizar um tipo de encaixe rápido nas braceletes, por forma a facilitar a customização do relógio, tornando-o assim um artigo ainda mais pessoal para o consumidor (figura 58).



Figura 58 – Exemplo do encaixe rápido considerado para o relógio a desenvolver [95]

As escolhas adotadas vão de encontro à experiência do autor no desenvolvimento de relógios de pulso, mas é também enquadrada com os produtos avaliados na fase de benchmarking.

4.9. Design for Manufacturing

Adotando uma abordagem metodológica de “Design for Manufacturing”, estudaram-se os métodos de fabricação para o YTZP antes de desenvolver um modelo 3D CAD (Computer Aided Design).

Conforme descrito no subcapítulo “Técnicas de Processamento de Cerâmicos”, é necessário após o processo de sinterização da peça recorrer a outras técnicas de fabrico para cumprir com os requisitos estéticos e tolerâncias dimensionais tais que garantam a boa resistência à submersão do relógio.

Para criar zonas de elevado rigor dimensional, como as faces de contacto com a tampa ou vidros, é necessário recorrer a métodos de fabrico abrasivos, devido á elevada dureza do YTZP.

As mesmas técnicas de fabricação com abrasivos são utilizadas para produzir os efeitos estéticos desejados. A peça sinterizada será inicialmente polida e posteriormente algumas faces serão sujeitas à ação de uma mó de calibre grosso para criar o efeito escovado por forma a gerar um efeito de contraste.

Para diminuir os custos de produção, o autor utilizou duas abordagens diferentes no momento de criar as caixas para o encaixe da bracelete nos seus suportes. Num dos conceitos gerados anteriormente, a inclusão do furo onde o encaixe assenta é feita de forma angular, a 10° de inclinação, conforme figura 59.

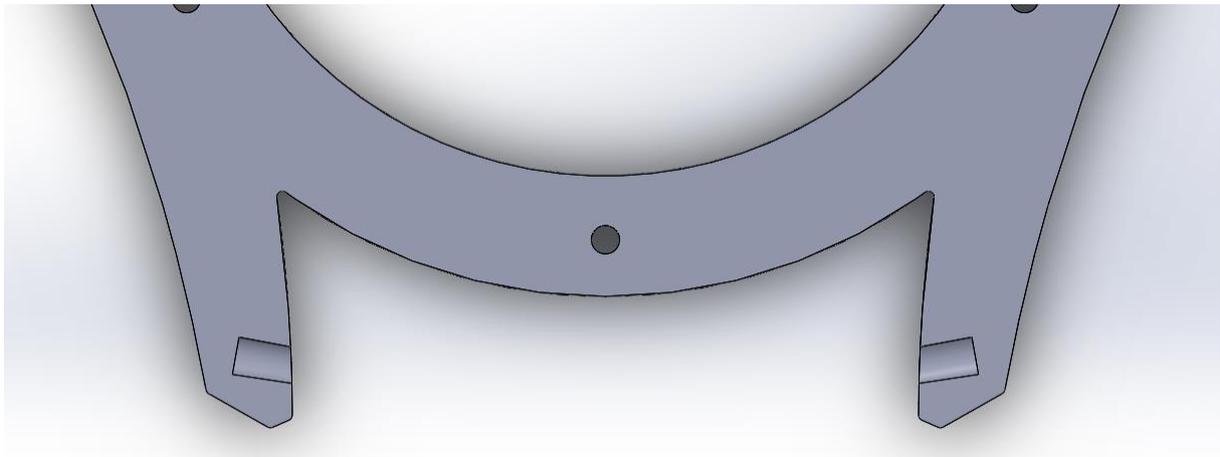


Figura 59 – Vista em seção da caixa de relógio com furos em ângulo

No segundo conceito, o autor optou por fazer um furo a direito de ponta a ponta, conforme exemplificado na figura 60.

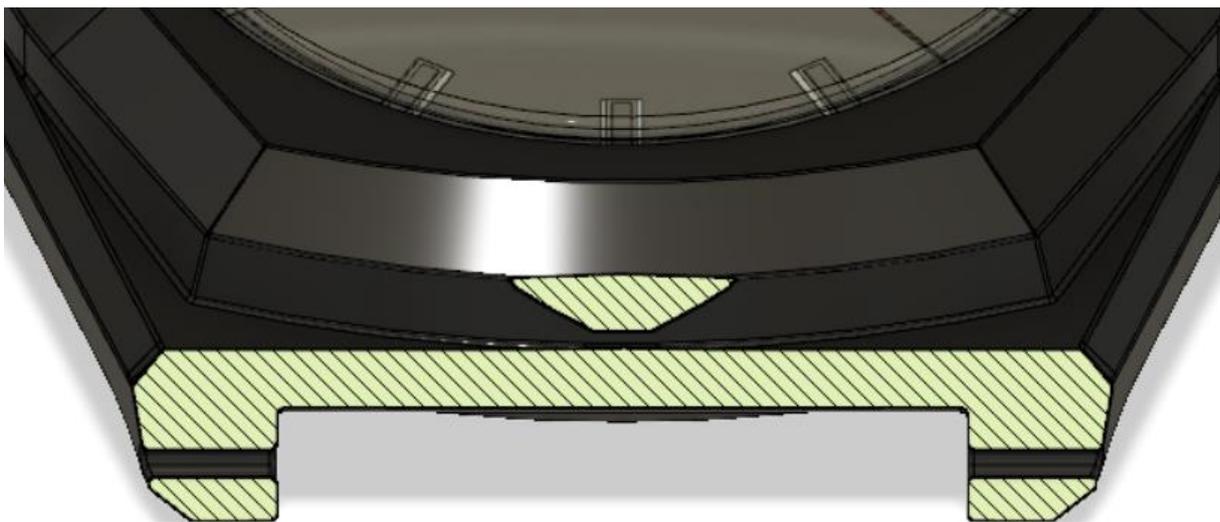


Figura 60 - Vista em seção da caixa de relógio com furo ponta a ponta

As soluções de melhoria do design, por forma a melhorar o processo de fabrico permitem diminuir custos sem comprometer o aspeto estético dos conceitos gerados.

Outras soluções podem ser adotadas caso o valor de construção torne o projeto menos viável, como a utilização de apenas um tipo de acabamento superficial, polido ou escovado, embora este tipo de soluções implique a descaracterização do design e perda de apelo estético, algo muito importante para o consumidor-tipo deste género de produtos.

4.10. Prototipagem

4.10.1. Prototipagem Virtual

Para criar o modelo 3D CAD utilizou-se o software Solidworks 2016 da Dassault (figura 61) e o Fusion 360 da Autodesk (figuras 63 e 64). Inicialmente o autor recorreu ao Solidworks 2016 pela familiaridade que tinha com o software, mas acabou por utilizar o Fusion 360 no desenvolvimento do segundo conceito pelas capacidades acrescidas que este software oferece a nível de integração com sistemas de prototipagem virtual e fabricação aditiva, sendo que tem ligação direta com o Keyshot 7, software utilizado na renderização foto realista dos conceitos apresentados.

Ambos os Projetos de Conceito Inicial foram desenvolvidos à volta do mecanismo escolhido, recorrendo a peças de compra quando possível. Aqui se incluem itens como vidros, juntas de vedação, botão, parafusos e ponteiros.



Figura 61 - Modelo 3D do primeiro projeto de conceito inicial

O processo de renderização das imagens foto realistas foi feito no software Keyshot 7 64bits, da Luxion. Trata-se de um software com excelentes capacidades de produzir imagens foto realistas rapidamente, com pouco tempo de setup graças a uma biblioteca de materiais e cenas de luz bastante completa. O seu funcionamento é bastante semelhante a trabalhar num estúdio de luz com câmara fotográfica. A maior falha deste software é a pouca margem de ajuste de materiais e cenas de luz.

As imagens das figuras 62 e 65 foram produzidas na resolução de 1920x1080px, com sombras e efeitos de luz avançados como refração avançada com efeitos cáusticos, reflexão, oclusão ambiente e efeito de profundidade. Foram utilizados os 8 núcleos disponíveis do processador da máquina utilizada, e as definições de qualidade foram calculadas pelo software considerando um tempo de render de 2 horas.



Figura 62 – Renderização fotorealística do primeiro projeto de conceito inicial

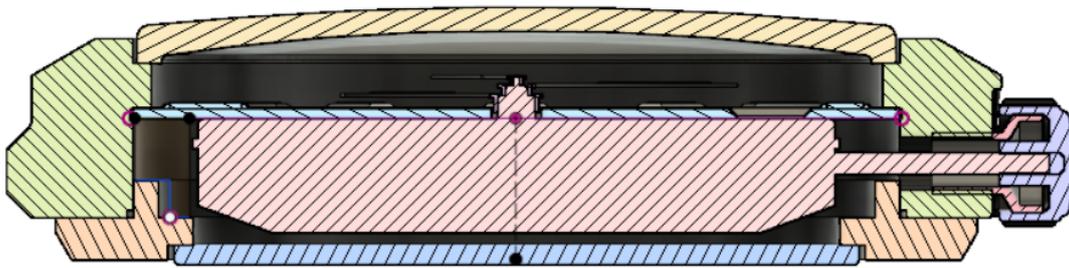


Figura 63 - Vista em secção do segundo projeto de conceito inicial



Figura 64 – Modelo 3D do segundo projeto de conceito inicial



Figura 65 – Renderização fotorealística 3D do segundo projeto de conceito inicial

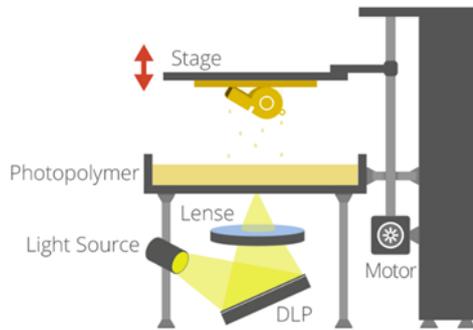
4.10.2. Prototipagem de modelos de teste

O método selecionado para fabricação dos dois protótipos físicos foi Direct Light Projection (DLP), um processo de fabricação aditiva em que a luz de espectro visível é utilizada para curar a resina camada a camada. Imagens de secção da peça a ser fabricada são projetadas por um projetor de alta resolução sob um banho de resina, curando uma camada inteira a cada projeção.

Outros métodos foram considerados, mas o DLP mostrou ser o mais adequado pela definição e detalhe que consegue produzir. A fusão por feixes de elétrons foi considerada pela capacidade de gerar peças em metal, tal como a impressão 3D, mas o detalhe não era o desejado e havia a necessidade de acabar as peças geradas por métodos subtrativos, como o corte por arranque de aparas. LOM foi considerado para testar a possibilidade de execução de um dos dois protótipos em fibra de carbono, mas o custo e a definição foram fatores que levaram a que esta tecnologia não fosse utilizada. Pelo seu baixo custo e elevada disponibilidade, FDM foi outra

opção avaliada para a execução dos protótipos, mas as suas características de baixa definição não eram apropriadas para gerar protótipos de caixas de relógios.

A tecnologia DLP não difere muito do SLA ou SLS que utilizam luz e resinas fotossensíveis para criar os modelos gerados, mas consegue fazê-lo com um grande nível de detalhe e rapidez.



A velocidade de fabrico é geralmente rápida quando comparada com outras tecnologias, já que consegue curar uma camada inteira por cada projeção (figura 66). Após o fabrico, as peças são novamente sujeitas a um processo de cura, desta vez por luz do espectro ultravioleta (UV) [96].

Figura 66 – Processo de Direct Light Projection [66]

Os resultados foram muito bons, sendo obtidas peças com elevada definição (figura 67 e 68), executadas com a empresa Shapeways. Foram abertos furos M1 e M1,6 para o fecho da tampa inferior da caixa do relógio.



Figura 67 – Os dois protótipos com conceitos distintos



Figura 68 – Vista lateral dos dois protótipos e suas características geométricas

Com ambos os modelos físicos, em mão, foi possível decidir que, dos dois Projetos de Conceito Inicial, o Segundo modelo iria ser escolhido como Conceito Final. Nesta decisão peso principalmente a robustez do design, bem como o facto de ser um design mais facilmente identificável.

4.11. Otimização

É caracterizado no presente subcapítulo a abordagem à implementação de melhorias após a geração de dois protótipos para avaliação. O autor analisa vários aspetos do protótipo selecionado. São eles:

- Robustez física da caixa
- Integração entre os vários componentes
- Fluidez estética do design

Foi feita também uma avaliação crítica de melhoria ativa, ou seja, não só procurar otimizar os aspetos críticos, mas também procurar melhorar outros aspetos como o “Design for Manufacturing” ou até melhoria de especificações como a resistência à submersão.

No sentido de implementar melhorias, algumas alterações foram efetuadas ao modelo 3D CAD original, sendo estas descritas abaixo:

- Diminuir a distância entre os suportes da bracelete, para adicionar robustez física ao relógio porque seria difícil de evitar empenos no processo de sinterização em características geométricas tão pequenas.
- Alterou-se a posição dos parafusos para permitir a integração de uma junta de vedação tipo “O-ring” no interior da tampa inferior da caixa do relógio.
- Adicionou-se uma parede interior à tampa inferior da caixa do relógio para fazer a interface com a junta de vedação tipo “O-ring”.

As alterações introduzidas deverão ser testadas num segundo protótipo físico antes de se avançar para as amostras de produção. Não obstante, faz parte da conclusão final do autor relativamente à otimização que as modificações implementadas vão de encontro aos objetivos propostos para esta fase, observando-se melhorias a nível estético e de arquitetura do produto.

4.12. Verificação

Na última etapa da metodologia adotada IDOV, a Verificação, deve avaliar-se os resultados obtidos no processo de conceção do produto para validar o trabalho de pesquisa e desenvolvimento levado a cabo.

A metodologia utilizada foi a aplicação de uma ferramenta de Implementação de Função de Qualidade (Anexo 2) em que se comparam as especificações utilizadas pelos principais concorrentes em relação aos requerimentos dos consumidores.

Definem-se os requisitos em dois grupos, o primeiro referente à performance e funcionalidade que as especificações definidas atribuem ao relógio, e o segundo dedicado às vantagens que as especificações selecionadas representam para os requerimentos estéticos do relógio.

Atribuíram-se os valores de importância de cada requerimento de acordo com a pesquisa de mercado, nomeadamente os resultados do questionário realizado, e verificou-se de que forma as especificações selecionadas contribuem para que as expectativas dos consumidores sejam atingidas.

O conceito gerado obteve uma pontuação relativa de 11 pontos, face aos 5 e 10 pontos obtidos pelos principais concorrentes. Verificou-se que um dos concorrentes não cumpria os

requisitos apurados (Filippo Loretto), e o outro concorrente embora cumprisse os requisitos (Liv Watches) o conceito desenvolvido e descrito nesta dissertação apresenta-se como uma opção mais completa.

4.13. Trabalhos Futuros

Serve o presente subcapítulo para prever e preparar as fases seguintes na conceção deste projeto. Embora sejam abordadas nesta dissertação as várias fases de conceção de produto previstas no “Design for Six Sigma”, são, no entanto, omitidas as metodologias de introdução deste produto no mercado.

É desejo do autor, continuar o processo de criar e introduzir o relógio descrito nesta dissertação no mercado. Para tal, várias fábricas foram contactadas para oferecer cotação para as diferentes partes do relógio, sendo que a quantidade mínima (MOQ) pedida rondava as 100 unidades.

Além destes custos, existe também o custo da ferramentaria necessária que é elevado devido às características necessárias para trabalhar com Zirconia. Os melhores preços e MOQ (Quantidade Mínima de Encomenda) propostos podem ser consultados na tabela 23.

Tabela 23 – Análise do custo de fabrico

	Preço	MOQ	Tooling
Mecanismo	81,06€	100 uni.	n/a
Caixa	25,57 – 42,62€	300 uni.	4262,40€
Juntas	2,00€	n/a	n/a
Vidro safira	25,57€	n/a	n/a
Braceletes	12,79€	100 uni.	n/a
Mostrador	12,79€	100 uni.	400,00€
Fivelas	5,00€	Com gravação p/ +20 uni.	n/a
Barras de mola	1,00€	n/a	n/a
Ponteiros	3,00€	n/a	n/a
Clips do mecanismo	5,00€	n/a	n/a
Pendulo Personalizado	30,00€	100 uni.	426,20€
Montagem	40,00€		n/a
Total	260,83€		5088,60€

Para fabricar 300 unidades, seria necessário um investimento inicial de 83,337.60€. Sendo que o valor inicial para a venda por crowdsourcing seria de 600\$, ou 511,50€, a margem de lucro seria de cerca de 49%, excluindo impostos.

Numa primeira fase será fabricada a ferramentaria necessária para o fabrico dos diferentes componentes e serão fornecidas amostras de produção nos materiais finais, incluídas no valor inicial. Estas unidades de testes serão utilizadas para validar a ferramentaria produzida pelos fabricantes e posteriormente enviadas a membros das comunidades de relojoaria, incluindo jornalistas e reviewers que possam dar feedback relativo ao produto fabricado.

A introdução no mercado será feita a partir da plataforma de crowdsourcing Kickstarter, que está bastante em voga na comunidade de colecionadores de relógio por fornecer opções frescas que fogem aos mercados mais tradicionais. A revisão bibliográfica descreve o descontentamento do mercado mais jovem com as ofertas tradicionais[97].

Paralelamente, espera o autor introduzir a marca e o relógio descrito no mercado nacional através dos revendedores existentes, oferecendo o relógio ao mesmo valor de venda inicial em crowdsourcing, sendo que o valor de revenda recomendado, e praticado através da venda num canal on-line da marca, será de 150% do valor de venda inicial.

Desta forma, é esperado que o relógio descrito ao longo desta dissertação, munido das especificações geradas num estudo completo e fundamentado, tenha difusão no nicho de mercado dos colecionadores, mas também do público nacional.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

5. Conclusão

5.1. Introdução

O presente capítulo apresenta as conclusões deste estudo, recorrendo aos dados obtidos na revisão bibliográfica, estudos experimentais e análise de mercado. As conclusões apresentadas servem como base para justificar as opções escolhidas no caso de estudo bem como avaliar as suas limitações. Por fim, são apresentadas sugestões para a continuação do estudo do tema abordado na presente dissertação.

5.2. Considerações

O produto descrito neste documento não é revolucionário, mas responde à necessidade de desenvolvimento numa área estagnada, rendida ao aço inoxidável AISI 316L, com diminutas alternativas, principalmente num mercado de grande interesse para uma nova geração de consumidores. As marcas de relógios de luxo tradicionais também oferecem relógios com caixas em materiais cerâmicos, mas a relação de custo/benefício não representa o consumidor moderno que não responde tanto à marca mas sabe identificar as características técnicas que adicionam valor aos produtos desejados.

Os materiais apresentados neste trabalho mostram que existe espaço para abordar novas tecnologias de materiais nesta gama de produtos, sem que isso ponha em causa as características estruturais de relógios fabricados em materiais alternativos. Exemplo disto, é o material cerâmico apresentado, que apesar de tradicionalmente esta classe de materiais ser associada a um comportamento frágil, mostra que, segundo os dados obtidos na revisão bibliográfica, a sua tensão máxima é comparável à do standard da indústria – o aço inoxidável AISI 316L. Mesmo entre os compósitos, o material proposto, *Forged Carbon*®, mostra ser adequado apesar da sua baixa tensão máxima graças à sua capacidade de absorver impacto, e mesmo a boa resistência ao desgaste pode ser melhorada graças aos avanços na área de revestimentos cerâmicos de base polimérica.

Recorrendo aos processos de fabricação disponíveis atualmente, é possível criar peças de relojoaria com materiais de gama alta sem que o preço seja significativamente maior face aos materiais mais convencionais, principalmente porque as quantidades de material a utilizar são

pequenas, sendo necessário apenas abater o custo da ferramentaria necessária para a fabricação das peças.

Foi realizada um estudo de mercado recorrendo a questionários direcionados tanto à população geral, como a grupos de entusiastas de relojoaria, para identificar o cliente e as suas necessidades e requisitos. Foi efetuada uma pesquisa das ofertas existentes, quais os concorrentes e qual o preço-ponto. Com base nestas informações criaram-se diretrizes para o design e produziram-se dois Projetos de Conceito Inicial.

Considera o autor que se conseguiram atingir os objetivos propostos para este trabalho, tendo sido feita a identificação de materiais geralmente utilizados em relógios, bem como o estado da arte dos métodos de fabrico utilizados no fabrico de relógios ou técnicas de processamento dos materiais considerados.

O autor desenvolveu conhecimentos sobre os materiais utilizados na construção de relógios e as técnicas de fabricação utilizadas.

Ao longo do trabalho desenvolvido, o autor gerou dois protótipos semi-funcionais dos conceitos desenvolvidos ao longo do trabalho. Posteriormente selecionou-se um conceito o qual foi validado recorrendo a uma ferramenta de Desenvolvimento de Função de Qualidade, comparando com os principais concorrentes.

5.3. Limitações e trabalhos futuros

O presente trabalho aborda tanto questões técnicas em relação aos materiais a utilizar, incluindo ensaios experimentais, como questões de estudo de mercado para o desenvolvimento de um novo relógio que atenda às necessidades do consumidor atual.

No aspeto mais técnico desta dissertação, é importante notar que os resultados obtidos não foram de encontro ao existente na literatura pelo que se torna relevante repetir o estudo, sendo sugestão do autor que se utilizem provetes fabricados com diferentes tecnologias, incluindo fresagem e acabamento à mó, para garantir a maior precisão dimensional e acabamento superficial com menor rugosidade.

Para mais, foi impossível obter provetes de dióxido de zircónio parcialmente estabilizado com yttria para este estudo devido ao seu custo de fabrico, tal como não foi possível obter uma amostra de *Forged Carbon*®. É então importante fazer o estudo destes materiais recorrendo à mesma metodologia utilizada para o AISI 316L, já que na revisão bibliográfica os dados obtidos

provêm de testes diferentes, levados a cabo em condições diferentes, etc. o que diminui a validade da comparação entre os valores obtidos.

A nível do estudo de mercado, deve-se assinalar a curta duração do mesmo, que limitou o seu alcance. Para validar as conclusões deste estudo, é aconselhado que se efetue um novo estudo de mercado de maior duração e com maior alcance.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Bibliografia

- [1] K. Yang and B. S. El-Haik, *Design for Six Sigma: Roadmap to product development*, no. January 2008. 2008.
- [2] J. Veryzer and W. Robert, “Discontinuous Innovation and the New Product Development.” 1998.
- [3] H. Takeuchi and I. Nonaka, “The new new product development game,” *Harv. Bus. Rev.*, pp. 137–147, 1986.
- [4] L. Menezes Melo, E. Andrés Diaz Merino, and G. Schmidt Aves Diaz Merino, “A Systematic Review About Design For X,” *Rev. Gestão da Produção Operações e Sist.*, vol. 12, no. 4, pp. 78–99, 2017.
- [5] J. Harkonen and J. Hyysalo, “Design for eXcellence in high tech companies Design for eXcellence in high tech companies Keywords: Design for eXcellence , Product development , Requirements,” 2008, no. May, pp. 2000–2002.
- [6] “Rolex Millgauss.” [Online]. Available: <https://www.flickr.com/photos/nicholasputz/6226779289>. [Accessed: 25-May-2018].
- [7] “Tag Heuer Monaco.” [Online]. Available: <https://www.horloger-paris.com/pt/tag-heuer-monaco/47317-tag-heuer-monaco-chronograph-automatico-calibre-11-39-milimetros-7612533117457.html>. [Accessed: 25-May-2018].
- [8] “Audmars Piguet Millenary.” [Online]. Available: <https://www.bonhams.com/auctions/25232/lot/953/?category=list>. [Accessed: 28-May-2018].
- [9] “Audemars Piguet Roayl Oak.” [Online]. Available: <https://www.crownandcaliber.com/products/audemars-piguet-royal-oak-15400st-oo-1220st-01-10-10-aud-5tn2z1>. [Accessed: 28-May-2018].
- [10] “Grand Seiko SBGA109.” [Online]. Available: <https://timelessluxwatches.com/reviews/grand-seiko-sbga109-sbga011-snowflake-review/>. [Accessed: 28-May-2018].
- [11] “Dievas Vortex.” [Online]. Available: <http://www.dievaswatches.com/vortex.html>. [Accessed: 06-Jun-2018].

- [12] “Zelos Chroma.” [Online]. Available: <http://www.thetimebum.com/2014/09/preview-zelos-chroma.html>. [Accessed: 30-May-2018].
- [13] “Casio Frogman.” [Online]. Available: <https://www.casio.com/products/watches/g-shock/gwf1000-1>. [Accessed: 28-May-2018].
- [14] “Nomos Tangente.” [Online]. Available: <https://www.blomeuhren.de/en/brands/nomos-glashuette>. [Accessed: 28-May-2018].
- [15] “Rolex Submariner.” [Online]. Available: <https://www.davidmrobinson.co.uk/watches/shop-by-brand/rolex/submariner.html>. [Accessed: 28-May-2018].
- [16] “Panerai Luminor.” [Online]. Available: <https://forums.watchuseek.com/f2/sandwich-dial-watches-2524298-2.html>. [Accessed: 29-May-2018].
- [17] “Watch hands.” [Online]. Available: <http://www.ofrei.com/page764.html>. [Accessed: 30-Jun-2018].
- [18] “Piaget Altiplano.” [Online]. Available: <http://www.lordsofwatch.com/en/all-watch-brands/piaget/altiplano/skeleton-38-mm-g0a38132>. [Accessed: 26-May-2018].
- [19] International Standard Organization, “ISO 6425:1996,” vol. 1996, 1996.
- [20] R. Donat, “Most Common Materials In Watchmaking – Pros & Cons,” *Donatwald*, 2018. [Online]. Available: <https://www.donatwald.com/watch-materials/>. [Accessed: 06-May-2018].
- [21] A. Adams, “How To Choose The Right Case Material For Your Watch,” *The Hour Glass*, 2017. [Online]. Available: <http://www.thehourglass.com/how-to-choose-the-right-case-material-for-your-watch/>. [Accessed: 06-May-2018].
- [22] J. A. Davidson, “Zirconium oxide coated prosthesis for wear and corrosion resistance,” 5,037,438, 1991.
- [23] P. F. Manicone, P. Rossi Iommetti, and L. Raffaelli, “An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications,” *J. Dent.*, vol. 35, no. 11, pp. 819–826, 2007.
- [24] P. Feraboli *et al.*, “Lamborghini ‘Forged Composite®’ Technology for the Suspension Arms of the Sesto Elemento,” 2010. [Online]. Available: <http://www.lambolab.org/wp-content/uploads/03research/pub/05chop/2011-ASC-montreal-forged-suspens-ICE.pdf>.
- [25] Karlex Watches, “Guide to Choosing Quality Stainless Steel in Watches,” *6 de Settembre*,

2018. [Online]. Available: <https://karlexwatches.com/stainless-steel-watches/>. [Accessed: 31-Mar-2019].
- [26] A. Adams, “Audemars Piguet Royal Oak Offshore Diver Forged Carbon Watch Hands-On,” *12 de Junho*, 2012. [Online]. Available: <https://www.ablogtowatch.com/audemars-piguet-royal-oak-offshore-diver-forged-carbon-watch-hands-on/>. [Accessed: 31-Mar-2019].
- [27] D. Bredan, “TAG Heuer Monaco Chronograph Forged Carbon Bamford Edition Hands-On,” *28 de Março*, 2018. [Online]. Available: <https://www.ablogtowatch.com/tag-heuer-monaco-chronograph-forged-carbon-bamford-edition-watch/>. [Accessed: 31-Mar-2019].
- [28] Omega, “Speedmaster Moonwatch Darkside of the Moon.” [Online]. Available: <https://www.omegawatches.com/pt/watches/speedmaster/moonwatch/dark-side-of-the-moon/product>. [Accessed: 31-Mar-2019].
- [29] Panerai, “Luminor GMT 10 Days.” [Online]. Available: <https://www.panerai.com/en/collections/watch-collection/luminor/pam00335-luminor-gmt-10-days---44mm.html>. [Accessed: 31-Mar-2019].
- [30] Omega, “Speedmaster Moonwatch Dark Side of the Moon - 311.92.44.51.003.” [Online]. Available: <https://www.omegawatches.com/pt/watch-omega-speedmaster-moonwatch-omega-co-axial-chronograph-44-25-mm-31192445101003>. [Accessed: 31-Mar-2019].
- [31] Omega, “Speedmaster MOONWATCH OMEGA CO-AXIAL CRONÓGRAFO 44,25 MM - 311.33.44.51.001.” [Online]. Available: <https://www.omegawatches.com/pt/watch-omega-speedmaster-moonwatch-omega-co-axial-chronograph-44-25-mm-31133445101001>. [Accessed: 31-Mar-2019].
- [32] Bell & Ross, “BR-X1 Carbone Forgé.” [Online]. Available: <https://www.bellross.com/our-collections/Experimental/br-x1/br-x1-chronographe/br-x1-carbone-forge>. [Accessed: 31-Mar-2019].
- [33] Bell & Ross, “BR 03-94 Black Steel.” [Online]. Available: <https://www.bellross.com/our-collections/Instruments/br-03-42-mm/br-03-94-chronographe/BR-03-94-BLACK-STEEL>. [Accessed: 31-Mar-2019].
- [34] Dassault Systems, “2018 Solidworks Help - Assemblies.” [Online]. Available:

- http://help.solidworks.com/2018/english/SolidWorks/sldworks/c_Assemblies_first_map_topic.htm?id=811e46695926407588b69bd4f990b331#Pg0. [Accessed: 24-Mar-2019].
- [35] Autodesk, “Cloud Powered 3D CAD/CAM Software for Product Design - 360 Fusion.” [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>. [Accessed: 24-Mar-2019].
- [36] Onshape, “Onshape Product Design Platform.” [Online]. Available: <https://www.onshape.com/>. [Accessed: 24-Mar-2019].
- [37] Engineering.com, “CAD in the Cloud is Now.” [Online]. Available: <https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/17105/CAD-in-the-Cloud-is-Now.aspx>. [Accessed: 24-Mar-2019].
- [38] “CNC machining: The Complete Engineering Guide,” *3dhubs.com*. [Online]. Available: <https://www.3dhubs.com/guides/cnc-machining/>. [Accessed: 03-Mar-2019].
- [39] I. P. Girsang, T. B. Circle, and J. S. Dhupia, “Machine Tools for Machining,” in *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*, 2016, pp. 811–865.
- [40] K. Weinert, I. Inasaki, J. W. Sutherland, and T. Wakabayashi, “Dry machining and minimum quantity lubrication,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 53, no. 2, pp. 511–537, 2004.
- [41] J. D. Radford and D. B. Richardson, “Abrasive Machining,” in *Production Engineering Technology*, Palgrave, London, 1980, pp. 191–210.
- [42] “Typical Grinding Wheel.” [Online]. Available: <https://slideplayer.com/slide/6137209/18/images/3/Typical+Grinding+Wheel.jpg>. [Accessed: 03-Mar-2019].
- [43] “Ultrasonic Machining Process, Working Principles and Advantages,” *engineeringarticles.org*, 2015. [Online]. Available: <http://www.engineeringarticles.org/ultrasonic-machining-process-working-principles-advantages/>. [Accessed: 03-Mar-2019].
- [44] M. A. Azmir and A. K. Ahsan, “Investigation on glass / epoxy composite surfaces machined by abrasive water jet machining,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 8, no. 198, pp. 122–128, 2008.

- [45] Calcom S.A., “Casting vs Forging.” [Online]. Available: <http://www.ekoendustri.com/assets/pdf/6.pdf>.
- [46] Forging Industry Association, “Types of Forging Processes.” [Online]. Available: <https://www.forging.org/types-of-forging-processes>. [Accessed: 03-Mar-2019].
- [47] Industrial Engineering Manufacturing Materials Processing Tools Directory, “Forging Types,” *mechgrid.com*. [Online]. Available: <https://www.mechgrid.com/forging-types.html>. [Accessed: 03-Mar-2019].
- [48] Steel Forging Company, “Hot Forging Process and Its Applications.” [Online]. Available: <http://www.steelforging.org/hot-forging-process-and-its-applications/>. [Accessed: 05-Mar-2019].
- [49] M. P. Groover, “Stereolithography,” in *Fundamentals of Modern Manufacturing*, John Wiley and Sons Ltd., Ed. 2010, pp. 789–791.
- [50] Rob Ramsdale, “Stereolithography (SLA) - Rapid Prototyping Process - Engineering Handbook,” *Engineering Handbook*. [Online]. Available: <http://www.engineershandbook.com/RapidPrototyping/stereolithography.htm>. [Accessed: 16-Feb-2019].
- [51] Formlabs, “3D Printing Technology Comparison: FDM vs. SLA vs SLS,” 2019. [Online]. Available: <https://formlabs.com/blog/fdm-vs-sla-vs-sls-how-to-choose-the-right-3d-printing-technology/>. [Accessed: 16-Feb-2019].
- [52] 3DEngr Submissions, “Rapid Prototyping SLA & SLS,” *3D Engineer*, 2018. [Online]. Available: <https://www.3dengr.com/sla-sls-rapid-prototyping.html>. [Accessed: 16-Feb-2019].
- [53] X. Mold, “Selective Laser Sintering (SLS) - 3D Printing,” *Rapid Prototype Service*. [Online]. Available: <https://www.xcentricmold.com/selective-laser-sintering/>. [Accessed: 16-Feb-2019].
- [54] Sculpteo, “Layer thickness: Precision of 3D Printing,” *Sculpteo.com*. [Online]. Available: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/layer-thickness-definition/>. [Accessed: 16-Feb-2019].
- [55] “Dimensional accuracy of 3D printed parts,” *3D Hubs*. [Online]. Available: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/dimensional-accuracy-3d-printed-parts#fdm>. [Accessed: 16-Feb-2019].

- [56] “3D Printing and Prototyping with Fuse Deposition Modeling,” *The Technology House*. [Online]. Available: <https://www.tth.com/3d-printing/fdm-prototyping/>. [Accessed: 16-Feb-2019].
- [57] S. Negi, R. K. Sharma, and S. Dhiman, “BASICS , APPLICATIONS AND FUTURE OF ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES: A REVIEW Suresh Dhiman,” *J. Manuf. Technol. Res.*, vol. 5, pp. 75–96, 2013.
- [58] “Sheet Lamination,” *Engineering Product Design*. [Online]. Available: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/sheet-lamination/>. [Accessed: 21-Feb-2019].
- [59] D. Sher, “ExOne Turns to 3D printed carbonparts in partnership with SGL Group,” *3D Printing Media Network*, 2018. [Online]. Available: <https://www.3dprintingmedia.network/exone-turns-3d-printed-carbon-parts-partnership-sgl-group/>. [Accessed: 21-Feb-2019].
- [60] L. E. Murr *et al.*, “Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies,” *J. Mater. Sci. Techno.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–14, 2012.
- [61] Arcamm EBM, “Arcamm EBM Brochure.” [Online]. Available: <http://www.arcam.com/wp-content/uploads/arcamebm-corp-brochure-fnlv3.pdf>. [Accessed: 02-Mar-2019].
- [62] S. Rawal, J. Brantley, and N. Karabudak, “Additive Manufacturing of Ti-64Al-4V Alloy Components for Spacecraft Applications,” *TechBriefs.com*, 2014. [Online]. Available: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/techbriefs/manufacturing-prototyping/18883>. [Accessed: 02-Mar-2019].
- [63] GE Additive, “Additive Manufacturing Processes,” *ge.com*, 2019. [Online]. Available: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/additive-manufacturing-processes>. [Accessed: 02-Mar-2019].
- [64] S. J. Grunewald, “Shapeways Introduces New Black High Definition Acrylate DLP 3D Printing Material,” *3dprint.com*, 2016. [Online]. Available: <https://3dprint.com/127835/shapeways-black-hd-acrylate/>. [Accessed: 02-Mar-2019].
- [65] B. Redwood, “Additive Manufacturing Technologies: an Overview,” *3dhubs.com*. [Online]. Available: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing->

- technologies-overview. [Accessed: 02-Mar-2019].
- [66] “Digital Light Processing,” *Think3D*. [Online]. Available: <https://www.think3d.in/digital-light-processing-dlp-3d-printing-technology-overview/>. [Accessed: 22-Jul-2018].
- [67] Bal Seal Engineering Inc., “ION IMPLANTATION , PVD AND CVD AND THEIR EFFECTS ON BAL TM SEAL PERFORMANCE Technical Report,” vol. 24. pp. 1–9, 2002.
- [68] M. Hughes, “What Is PVD Coating?,” *SEMICORE Equipment, Inc.* [Online]. Available: <http://www.semicore.com/what-is-pvd-coating>. [Accessed: 05-Mar-2019].
- [69] PVD Coatings, “PVD Coatings FAQ.” [Online]. Available: <http://www.pvdcoatings.net/faq>. [Accessed: 05-Mar-2019].
- [70] M. Guazzato, M. Albakry, S. P. Ringer, and M. V. Swain, “Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics,” *Dent. Mater.*, vol. 20, no. 5, pp. 449–456, 2004.
- [71] B. Wolaver, “Zirconium Oxide: Properties, Uses and Manufacturing Processes,” *Article Cube*. [Online]. Available: <https://www.articlecube.com/zirconium-oxide-properties-uses-and-manufacturing-process>. [Accessed: 31-Mar-2019].
- [72] P. Vallittu, “5 - Processing and bonding of dental ceramics,” in *Non-Metallic Biomaterials for Tooth Repair and Replacement*, P. Vallittu, Ed. Woodhead Publishing, 2013, pp. 129–160.
- [73] D. S. Landes, “Watchmaking: A Case Study in Enterprise and Change,” *Bus. Hist. Rev.*, vol. Vol. 53, N, no. European Entrepreneurship (Spring, 1979), pp. 1–39, 1979.
- [74] F. E. Beauloye and Chang, “Millenials Aspiration Drive Luxury Watch Growth,” *Luxe Digital*, 2018. [Online]. Available: <https://luxe.digital/digital-luxury-reports/millennials-drive-luxury-watch-growth/>. [Accessed: 21-Jul-2018].
- [75] J. Roesler, H. Harders, and M. Baeker, *Mechanical Behaviour of Engineering Materials*. Wiesbaden: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [76] A. Adams, “Watch Case Materials Explained: Titanium,” *A Blog to Watch*, 2012. [Online]. Available: <https://www.ablogtowatch.com/watch-case-materials-explained-titanium/>. [Accessed: 06-May-2018].

- [77] M. Senatore, L. Finzetto, and E. Perea, “Estudo comparativo entre os aços inoxidáveis dúplex e os inoxidáveis AISI 304L/316L,” *Rem Rev. Esc. Minas*, vol. 60, no. 1, pp. 175–181, 2007.
- [78] A. S. Metals, “AISI Type 316L Stainless Steel, annealed bar - Data sheet.” [Online]. Available: <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MQ316Q>. [Accessed: 09-May-2018].
- [79] V. Muthukumar, V. Selladurai, S. Nandhakumar, and M. Senthilkumar, “Corrosion and Hardness Behaviour of AISI 316L SS Implanted with Argon and Oxygen Ions,” *Manuf. Eng*, vol. 2, pp. 75–79, 2010.
- [80] J. Symonds, J. P. Vidosic, H. V Hawkins, and D. D. Dodge, “Strength of Material,” *Marks’ Standard Handbook for Mechanical Engineers*. 1996.
- [81] R. K. Desu, H. Nitin Krishnamurthy, A. Balu, A. K. Gupta, and S. K. Singh, “Mechanical properties of Austenitic Stainless Steel 304L and 316L at elevated temperatures,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 13–20, 2016.
- [82] W. C. ASTM International, *ASTM A370-14: Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. 2014.
- [83] N. T. R. Center, “Fracture Toughness.” [Online]. Available: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Mechanical/FractureToughness.htm>. [Accessed: 21-Jul-2018].
- [84] AZoM, “Stainless Steel - Grade 316 (UNS S31600),” *Sep 13*, 2001. [Online]. Available: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=863>. [Accessed: 08-Jul-2018].
- [85] Quantum Composites, “Technical Data Sheet,” 2013. [Online]. Available: https://www.quantumcomposites.com/pdf/datasheets/amc/Quantum-AMC-8593_126-76-118.pdf.
- [86] D. Li and P. Lerroux, “Mechanical & Tribological Properties of Carbon Fiber Composite,” 2015. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/276293106_MECHANICAL_TRIBOLOGICAL_PROPERTIES_OF_CARBON_FIBER_COMPOSITE.
- [87] G. Ceramics, “Zirconia - Ceramics.” [Online]. Available: <http://www.goodfellow-ceramics.com/products/ceramics/zirconia/>. [Accessed: 08-Apr-2018].

- [88] Superior Technical Ceramics, “Yttria Stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystals (YTZP),” 2014. [Online]. Available: <https://www.ceramics.net/sites/default/files/files/YTZP-Property-Chart-FAP.pdf>.
- [89] M. M. Kenichi Noguchi, Michihiko Fujita, Takaki Masaki, “Tensile Strength of Yttria-Stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystals,” *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 72, no. 7, pp. 1305–1307, 1989.
- [90] Zwick Roell, “Zwick Z100 / Z250 Product Information.” pp. 1–2.
- [91] D. Roylance, “Beam Displacements,” 2000. [Online]. Available: https://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-11-mechanics-of-materials-fall-1999/modules/MIT3_11F99_bdisp.pdf.
- [92] “Leading watch exporting countries worldwide in 2016, by export value (in billion U.S. dollars),” *Statista*, 2016. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/288258/leading-watch-exporting-countries/>. [Accessed: 21-Jul-2018].
- [93] “Global Luxury Watches Market 2017-2021,” *Market Insider*, 2017. [Online]. Available: <https://markets.businessinsider.com/news/stocks/global-luxury-watches-market-2017-2021-1002596519>. [Accessed: 21-Jul-2018].
- [94] A. Adams, “How The Swiss Luxury Watch Industry Is Dismantling Business Operations In America,” *Forbes*, 2018. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/arieladams/2018/03/02/the-swiss-luxury-watch-industry-is-dismantling-business-ops-in-america-its-most-important-market/#37552d4069f3>. [Accessed: 21-Jul-2018].
- [95] Molequin, “Quick Release Spring Bars.” [Online]. Available: <https://molequin.com/blogs/news/quick-release-spring-bars>. [Accessed: 27-Mar-2019].
- [96] Mansee, “Introducing Our Newest Material: Black High Definition Acrylate,” *Shapeways*, 2016. [Online]. Available: <https://www.shapeways.com/blog/archives/24432-introducing-our-newest-material-black-high-definition-acrylate.html>. [Accessed: 22-Jul-2018].
- [97] P.-Y. Donzé, “The transformation of global luxury brands: The case of the Swiss watch company Longines, 1880–2010,” *Bus. Hist.*, 2017.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Anexos

Anexo 1 – Questionário para estudo de mercado

22/07/2018

Personal watch history

Personal watch history

*Obrigatório

1. How many watches do you own *

Marcar apenas uma oval.

- None
- 1-3
- 4-6
- 6-9
- 10 or more

2. What is your typical budget for a watch? *

Marcar apenas uma oval.

- Under 250\$
- 250-600\$
- 600-1200\$
- 1200-1800\$
- 1800-3000€
- Over 3000\$

3. Which (of these) complications do you own (please consider only mechanical watches, either handwound or automatic) *

Marcar tudo o que for aplicável.

- GMT
- Chronograph
- Tourbillon
- Calendar
- Power reserve

4. Which (of these) complications don't you own, but are interested in (please consider only mechanical watches, either handwound or automatic) *

Marcar tudo o que for aplicável.

- GMT
- Chronograph
- Tourbillon
- Callendar
- Power reserve

Watch preferences

5. Please rate these styles of watches according to your preferences *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Like it very much	Like it	Indiferent	Dislike it	Dislike it a lot
Aviator	<input type="radio"/>				
Dress	<input type="radio"/>				
Racing	<input type="radio"/>				
Skelleton	<input type="radio"/>				
Diver	<input type="radio"/>				
Vintage	<input type="radio"/>				

6. Please rate these dimensions for overall case diameter (excluding lugs) *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Like it very much	Like it	Indiferent	Dislike it	Dislike it a lot
38-40mm	<input type="radio"/>				
41-42mm	<input type="radio"/>				
43-45mm	<input type="radio"/>				
46-50mm	<input type="radio"/>				
over 50mm	<input type="radio"/>				

7. Please rate these watch attributes according to your preferences *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Indispensible	Very important	Somewhat important	Not very important	Not important
Water resistance	<input type="radio"/>				
Complications	<input type="radio"/>				
Materials used	<input type="radio"/>				
Sapphire crystal	<input type="radio"/>				
Price	<input type="radio"/>				
Case design	<input type="radio"/>				
Dial design	<input type="radio"/>				
Open caseback	<input type="radio"/>				
Screw-in crown	<input type="radio"/>				

8. Please choose your preferred bracelet style regarding aesthetics *

Marcar apenas uma oval.

- Vintage/Aged leather
- Regular leather
- Silicone
- Nato
- Metal bracelet (oyster, jubilee, etc)
- Mesh (milanese, shark)
- Outra: _____

9. Please choose your preferred bracelet style regarding comfort *

Marcar apenas uma oval.

- Vintage/Aged leather
- Regular leather
- Silicone
- Nato
- Metal bracelet (oyster, jubilee, etc)
- Mesh (milanese, shark)

10. How likely are you to buy a watch, based on it's case manufacturing country *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Definitely buy	Very likely	Undecided	Not likely	Not buying
China	<input type="radio"/>				
Japan	<input type="radio"/>				
Russia	<input type="radio"/>				
Germany	<input type="radio"/>				
Swiss	<input type="radio"/>				

11. How likely are you to buy a watch, based on it's assembling country *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Definitely buy	Very likely	Undecided	Not likely	Not buying
China	<input type="radio"/>				
Japan	<input type="radio"/>				
Russia	<input type="radio"/>				
Germany	<input type="radio"/>				
Swiss	<input type="radio"/>				

12. How likely are you to buy a watch, based on it's movement manufacturing country *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Definitely buy	Very likely	Undecided	Not likely	Not buying
China	<input type="radio"/>				
Japan	<input type="radio"/>				
Russia	<input type="radio"/>				
Germany	<input type="radio"/>				
Swiss	<input type="radio"/>				

Service preferences

13. How likely are you to buy a watch in a Kickstarter campaign, based on it's price point (assume quality is proportional to the price) *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Definitely buy	Very likely	Undecided	Not likely	Not buying
Under 250\$	<input type="radio"/>				
250-600\$	<input type="radio"/>				
600-1200\$	<input type="radio"/>				
1200-1800\$	<input type="radio"/>				
1800-3000\$	<input type="radio"/>				
Over 3000\$	<input type="radio"/>				

14. How likely are you to pre-reserve a watch before a Kickstarter campaign, based on its price point (assume quality is proportional to the price, with discount over Kickstarter price) *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Definitely buy	Very likely	Undecided	Not likely	Not buying
Under 250\$	<input type="radio"/>				
250-600\$	<input type="radio"/>				
600-1200\$	<input type="radio"/>				
1200-1800\$	<input type="radio"/>				
1800-3000\$	<input type="radio"/>				
Over 3000\$	<input type="radio"/>				

15. Please choose one: *

Marcar apenas uma oval.

- Free shipping with a higher price point
- Lower price point for the watch + price of preferred shipping method
- Outra: _____

16. Please rate these delivery times (after payment is made) *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Awesome	Good	Okay	Acceptable	Unacceptable
1-2 weeks	<input type="radio"/>				
2-4 weeks	<input type="radio"/>				
4-8 weeks	<input type="radio"/>				
8-12 weeks	<input type="radio"/>				
Over 12 weeks	<input type="radio"/>				

17. Please rate these delivery times (after payment through Kickstarter is made) *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Awesome	Good	Okay	Acceptable	Unacceptable
1-2 weeks	<input type="radio"/>				
2-4 weeks	<input type="radio"/>				
4-8 weeks	<input type="radio"/>				
8-12 weeks	<input type="radio"/>				
Over 12 weeks	<input type="radio"/>				

Personal

18. Age group *

Marcar apenas uma oval.

- Under 18 yo
- 18-28 yo
- 28-38 yo
- 38-50 yo
- Over 50 yo

19. What is your gender*Marcar apenas uma oval.*

- Male
- Female
- Other

20. Household Income **Marcar apenas uma oval.*

- Under 18k \$/yr
- 18k-30k \$/yr
- 30k-60k \$/yr
- 60k-95k \$/yr
- Over 95k \$/yr

21. Where are you based? **Marcar apenas uma oval.*

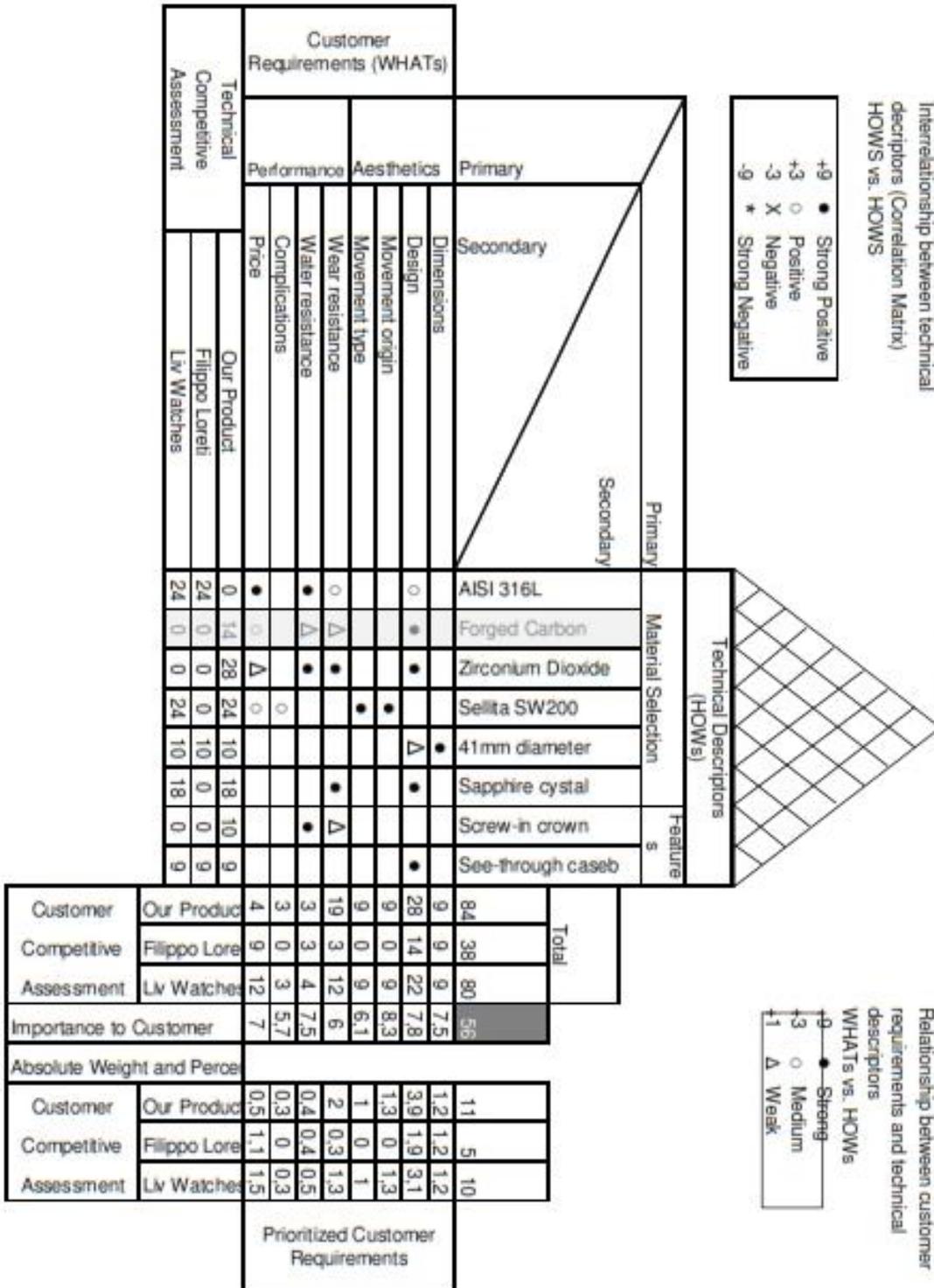
- Europe
- North America
- Asia
- South America
- Middle east
- Africa
- Autralia/New Zealand

22. What is your profession? *

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Anexo 2 – Quality Function Deployment

QFD Example
Step 1 - List Customer Requirements (WHATs)
 June, 2018



Esta página foi intencionalmente deixada em branco.