

**MESTRADO EM DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO**  
RAMO DESIGN DE PRODUTO

# **POÇAS: HEXAFONES**

Desenvolvimento de um artefacto interativo  
em impressão 3d de grande escala  
para um centro de visitas

**Luís Torres**

**M**

**2023**





MESTRADO EM DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO  
UNIVERSIDADE DO PORTO

## **O JÚRI**

### **PRESIDENTE**

Doutor Jorge Lino

PROFESSOR ASSOCIADO, COM AGREGAÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

### **ORIENTADOR**

Doutor Rui Mendonça

PROFESSOR AUXILIAR, COM AGREGAÇÃO, DA FACULDADE DE BELAS ARTES DA UNIVERSIDADE DO PORTO

### **ARGUENTE**

Doutor Francisco José Silva

PROFESSOR COORDENADOR DO INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO.

# 20

20 NOVEMBRO 2023

MESTRE Luís Torres  
MDIP/149



## Resumo

À medida que o universo dos vinhos se torna cada vez mais competitivo, profissionais de diferentes marcas procuram diferenciar os seus produtos, cativar a atenção dos consumidores e assim destacarem-se a nível de mercado.

No âmbito desta dissertação de mestrado, em Design Industrial e de Produto, desenvolveu-se um artefacto para ser instalado no Centro de Visitas da empresa de vinhos Poças. Este projeto teve como finalidade o desenvolvimento de uma peça para motivar visitantes e permitir que estes vivessem uma nova experiência.

Para tal, realizou-se uma colaboração com o INEGI (Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial), que disponibilizou um robô de impressão 3D de grande escala recentemente instalado, onde foi possível contribuir para a sua exploração e demonstração das suas potencialidades.

Durante o estado da arte, visitou-se um conjunto alargado de caves de vinhos, museus e centros de informação, e fez-se uma pesquisa a níveis profissional, científico e literário sobre tecnologias de fabrico aditivo, para possibilitar a definição de um conceito e geometria na fase de projeto. Nesta fase, investigaram-se as melhores estratégias para o desenho de um produto eficaz, funcional e esteticamente apelativo.

Na fase de produção, utilizou-se polipropileno reforçado com 30% de fibra de vidro e projetou-se um sistema eletrónico capaz de emitir sons ativados através de sensores de movimento. Estes sons foram produzidos em colaboração com os músicos portugueses Manel Cruz e Nuno Mendes, que contribuíram para a construção de uma experiência mais imersiva.

Como resultado, obteve-se um artefacto interativo, musical e em impressão 3D de grande escala com mais de 2 metros de altura e largura, para evidenciar as diferentes cores dos Vinhos Poças. Foram realizados um conjunto de testes com visitantes que demonstraram a validade do projeto e o artefacto foi instalado no Centro de Visitas da empresa.

Palavras-Chave: Design, Interação, Impressão 3D de grande escala, Vinho Poças, Desenvolvimento de Produto

## Abstract

As the world of wine becomes more and more competitive, professionals from different brands seek to differentiate their products and captivate the attention of consumers to distinguish themselves in the market.

As part of this master's thesis in Industrial and Product Design, we argue for an artifact to be displayed at Poças Visitor's Center, a wine company in Vila Nova de Gaia. The purpose of this project was to develop an object to motivate visitors and allow them to live a new experience.

To this end, a project was carried out in collaboration with INEGI (Institute of Science and Innovation in Mechanical and Industrial Engineering), using a recently installed large-scale 3D printing robot, where it was also possible to contribute to the exploration of the technology and demonstration of its potential.

During the state of the art, a wide range of wine cellars and museums were visited, and a professional, scientific and literary investigation was carried out into additive manufacturing technologies to enable the definition of a concept and geometry in the project phase, where the best strategies to build an effective, functional and aesthetically appealing product were investigated.

For its production, the material chosen was polypropylene reinforced with 30% glass fiber, and an electronic system capable of emitting sounds activated by motion sensors was incorporated in the experience. The sounds were produced in collaboration with the Portuguese musicians Manel Cruz and Nuno Mendes, who contributed to a more immersive experience.

As a result, we built an interactive, musical and large-scale 3D-printed artifact with more than two meters in height and width to showcase the different colors of Poças wines. A series of tests were carried out with visitors that demonstrated the viability of the project and the project was installed at the company's Visitor Center.

Keywords: Design, Interaction, Large-Scale 3D Printing, Poças Wine, Product Development



## Agradecimentos

Nesta dissertação várias pessoas contribuíram para um projeto tão especial:

Agradeço ao meu mentor, orientador e professor Rui Mendonça pela inigualável disponibilidade, orientação e inúmeros conselhos de Design, que serão guardados para toda a minha carreira profissional. Foi um prazer ter a oportunidade de ouvir tantas lições e partilha de conhecimento durante estes últimos três anos de Mestrado.

Ao Pedro Pintão e à Poças pela oportunidade de realização de um projeto no vosso Centro de Visitas e disponibilidade ao longo de todo o processo.

Ao meu coorientador Luís Oliveira e a toda a equipa do INEGI, igualmente pela disponibilidade de realização de um projeto em parceria de grande escala e vasta partilha de conhecimentos ao longo deste projeto.

Aos músicos Manel Cruz e Nuno Mendes pela ajuda na criação de melodias e de um sistema de som que tão bem se adaptaram ao projeto e contribuíram para a magia e mistério desta experiência.

À minha família, a todos os amigos e todas as pessoas que contribuíram para esta dissertação.

# Índice

<b>1- Introdução</b>	<b>12</b>
Objetivos	14
Parcerias	14
Poças	14
INEGI	14
Organização do Documento	15
<b>2 – Metodologias</b>	<b>16</b>
Diagrama Concetual e Organigrama	19
Estratégias de Visualização e Programas Utilizados	20
<b>3 – Estado da Arte</b>	<b>22</b>
Revisão de Literatura	23
1- O Vinho	24
Introdução	24
Processos de Produção de Vinho	24
Diferentes Tipos de Vinho do Porto	25
Visitas de Campo	26
Resumo dos Vinhos	33
2- Fabrico Aditivo	34
Introdução	34
Tipos de Tecnologias de Fabrico Aditivo	36
Materiais de Impressão 3D	37
Projetar para Impressão 3D	38
Altura das Camadas	38
Contrações e Deformações	39
Material de Suporte	39
Enchimento	40
Análise de Mercado	42
Resumo Fabrico Aditivo	47
<b>4 – Projeto</b>	<b>48</b>
Considerações Iniciais	49
Proposta	50
Procura de um Conceito	51
Procura de Formas	52
A Influência da Música no Vinho	59
Incorporação de um Som	60
A Importância da Luz	66
Desenho Final	69

<b>5 – Produção</b>	<b>72</b>
Tecnologia	73
Testes Experimentais	77
Pós-Processamento	89
Instalação da Parede Vertical	90
Instalação do Sistema Musical	91
Desenhos Técnicos e Informações	97
Resultados e Análise	99
Limitações e Futuras Sugestões	103
<b>6 – Conclusão</b>	<b>104</b>
Bibliografia	106
Figuras, Gráficos e Tabelas	108

## Abreviaturas

3DP – Three Dimensional Printing;  
3DMP – Three Dimensional Metal Printing;  
ADAM - Atomic Diffusion Additive Manufacturing;  
BAAM - Big Area Additive Manufacturing;  
BJ - Binder Jetting;  
BMD - Bound Metal Deposition;  
BS - Boca do Som;  
CAD - Computer-aided design;  
CAM - Computer-aided manufacturing;  
CBAM - Composite-Based Additive Manufacturing;  
CP - Corpo Principal;  
DED - Directed energy deposition;  
DfAM - Designing for Additive Manufacturing;  
DLP - Digital Light Processing;  
DLS - Digital Light Synthesis;  
DMLS - Direct Metal Laser Sintering;  
DPS - Desenvolvimento de Produtos e Sistemas;  
EBAM - Electron Beam Additive Manufacturing;  
FBAUP – Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto;  
FDM - Fused Deposition Modeling;  
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;  
FFF - Fused Filament Fabrication;  
GPD - Gel Dispensing Printing;  
HSS - High-Speed Sintering;  
INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial;  
LDT - Laser Deposition Technology;  
LMD - Laser Metal Deposition;  
MJF - Multi-Jet Fusion;  
PLC – Programmable Logic Controllers  
RPD - Rapid Plasma Deposition;  
SDL - Selective Deposition Lamination;  
SLA – Stereolithography;  
SLM - Selective Laser Melting;  
SLS - Selective Laser Sintering;  
SPJ - Single-Pass Jetting;  
SRC - Source Code File;  
STL - Standard Triangle Language / Standard Tessellation Language.  
TC - Tampa de Cima.  
UAM - Ultrasonic Additive Manufacturing;



## Introdução

O design, aplicado à indústria dos vinhos, pode ser explorado de várias perspectivas para demonstrar a sua relevância e oferecer oportunidades reais, como um meio para o desenvolvimento de estratégias de marketing eficazes. [1] A vitivinicultura continua a ter uma importância socioeconómica fundamental em Portugal e em 2021, o país foi o 10.º maior exportador de vinho (em volume) e o 10.º maior produtor mundial [2].

Para adquirir o grau de Mestre em Design Industrial e de Produto, foi realizado um projeto em parceria com a Poças – empresa de vinhos em Vila Nova de Gaia - com o objetivo de cativar a atenção dos clientes e proporcionar a vivência de uma nova experiência no seu Centro de Visitas.

Ao longo dos anos, a Poças tem revelado sensibilidade para a arte e desenvolvido vários projetos na área do design, por exemplo: em 2017 foi inaugurado o projeto “Thirty Three Poças” no Centro de Visitas, uma exposição de Luís Mendonça, com uma série de objetos que ilustram metáforas em torno do vinho, sempre com o formato de uma garrafa “escondido” [3]; mais tarde, em 2019, com Cristina Planas Leitão, Sónia Balacó, Rui Poças e Mariana, a Miserável, foi desenvolvido o projeto “Poças Fora da Série” com uma especial ligação a diferentes movimentos artísticos, apoiando e homenageando o talento português nas suas mais variadas formas de expressão [4]; Neste mesmo ano, nasceu também o Trava-Línguas Tinto com a colaboração de André da Loba, que reúne uma série de rótulos únicos e divertidos para dar vida e cor a alguns trava-línguas com recurso a aplicações de realidade aumentada [5]; também, em 2022 surgiu o projeto “Impressões da vinha” financiado pela Poças e desenvolvido em contexto académico, que reúne um conjunto de cartazes com o objetivo de experimentar novas formas de comunicação, promovendo marcas, autores, produtores e produtos locais [6].

Atendendo à sensibilidade da empresa para a arte e visando a construção de um projeto de grande dimensão, entendeu-se que se poderia desenvolver um objeto mais escultórico e com uma boa experiência visual, e com o objetivo de produzir algo mais diferenciado e misterioso, decidiu-se desenvolver um projeto interativo e musical, para despertar curiosidade nos visitantes.

Visando a incorporação de uma tecnologia pertinente para esta ideologia, propôs-se a realização de um projeto em colaboração com o INEGI, que possibilitou a utilização de um robô de fabrico aditivo de grande escala, recentemente instalado nos seus laboratórios. Consequentemente, foi possível dar um contributo para a exploração da tecnologia e demonstração das suas potencialidades.

A indústria global está numa fase de transformação da conceção de produtos, fabrico e operações de serviços possibilitada pelas tecnologias de fabrico de aditivo, que com o rápido crescimento nos últimos 30 anos, abrem cada vez mais novas oportunidades de produção, permitem o desenvolvimento de novas soluções e possibilitam a realização de processos de fabricação não tripulados [7]. Para além de eliminarem a necessidade de ferramentas específicas, construir geometrias altamente complexas e serem eficientes em termos de material, podem reduzir tanto os custos de produção como os tempos de execução [8].

De outro modo, os métodos tradicionais de manufatura, são normalmente insustentáveis no que diz respeito a desperdícios de material, consumos de energia e processos de fabrico não renováveis libertam gases com efeito de estufa, que representam graves ameaças para a saúde humana [9]. Estes métodos, mais a produção em massa, testes, manutenção e eliminação de resíduos são responsáveis pelo consumo de 22% da energia total [10] e pela produção de aproximadamente 20% das emissões globais de CO<sub>2</sub> [11].

[1] Jennings, D., Wood, C: Wine: Achieving Competitive Advantage Through Design. International Journal of Wine Marketing, Vol. 6 No. 1, pp. 49-61, 1994.

[2] Sanderson, M., Teixeira, M., Fontes, N., Silva, S., Graça, A.: The probability of unprecedented high rainfall in wine regions of northern Portugal, Climate Services, Vol. 30, 2023.

[3] <https://pocas.pt/thirty-three-pocas-esculturas-luis-mendonca/>

[4] <https://pocas.pt/pocas-fora-da-serie/>

[5] <https://pocas.pt/criatividade-e-inovacao/>

[6] Centro de Visitas Poças. Vila Nova de Gaia. 2022.

[7] Xiaoyong Tian, Lingling Wu, Dongdong Gu, Shangqin Yuan, Yufan Zhao, Xiao Li, Liliang Ouyang, Bo Song, Tong Gao, Jiankang He, Xin Lin, Feng Lin, Jihong Zhu, Dichen Li. Roadmap for Additive Manufacturing: Toward Intellectualization and Industrialization. 2022.

[8] Industrial and Consumer Uses of Additive Manufacturing. Haden Edward Quinlan, T. H., John Jaddou, and A. John Hart. 2017.

[9] Applications of additive manufacturing (AM) in sustainable energy generation and battle against COVID-19 pandemic: The knowledge evolution of 3D printing. Wang, Y. 2021.

[10] A. Azam, A. Naeem Shah, S. Ali, Z. Abbas, A. Ahmed, A. Iqbal, et al. Design, fabrication and implementation of HE-OBCU-EGR emission control unit on CI engine and analysis of its effects on regulated gaseous engine emissions. J King Saud Univ - Eng Sci (2019), 10.1016/j.jksues.2019.10.002.

[11] P. Nejat, F. Jomehzadeh, M.M. Taheri, M. Gohari, M.Z.A. Majid. A global review of energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO<sub>2</sub> emitting countries). Renew Sustain Energy Rev, 43 (2015), pp. 843-862.

Hoje em dia, são vários os materiais disponibilizados para fabrico aditivo, no entanto os plásticos são ainda os mais utilizados. O robô de impressão é uma máquina de conceção personalizada a alta temperatura e o material disponibilizado pode ser quase qualquer termoplástico, alimentado através de granulados. Para este projeto, foi utilizado um compósito de polipropileno reforçado com 30% de fibra de vidro. Os compósitos, surgiram para alcançar a melhor combinação possível de características dentro de um mesmo material e a incorporação de reforços pode servir para melhorar as suas propriedades físicas, térmicas, mecânicas ou estéticas [12].

Com este projeto, pretendeu-se também aprofundar o conhecimento na área de design, desenvolvimento de produtos e inspirar futuros designers com uma exemplificação das vantagens e possibilidades do fabrico aditivo de grande escala.

## Objetivos

O principal objetivo deste projeto foi desenvolver um artefacto para ser exposto no Centro de Visitas da Poças, com a finalidade de cativar a atenção dos visitantes e proporcionar a vivência de uma nova experiência.

Com a possibilidade de construção de um projeto em parceria com o INEGI, surgiu um segundo objetivo de contribuição para a exploração da tecnologia disponibilizada e os aspetos mais importantes a ter em consideração foram analisados durante a fase de produção.

## Parcerias

### POÇAS

Com mais de 100 anos de vida, atualmente a Poças está nas mãos da 4ª geração da família, sendo uma das raras empresas de Vinho do Porto que nasceu portuguesa e que continua a pertencer à mesma família que lhe deu origem e o próprio nome desde a sua fundação. É considerada como “o lado mais português da história do Douro vinhateiro”.

A Poças é uma empresa produtora de vinhos do Porto e DOC Douro. Tem como sede o seu centro histórico de Vila Nova de Gaia, onde se encontra igualmente o Centro de Visitas, aberto ao público desde 2016 [13].

### INEGI

O INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial é um Centro de Interface Tecnológico (CIT) criado em 1986, vocacionado para a realização de atividades de investigação e de inovação de base tecnológica, transferência de tecnologia, consultoria e serviços tecnológicos, orientadas para o desenvolvimento da indústria e da economia em geral. É uma instituição de utilidade pública, privada e sem fins lucrativos. Pretende contribuir para o desenvolvimento da indústria e da economia em geral através da inovação de base científica e tecnológica, garante ao mesmo tempo o desenvolvimento pessoal e profissional dos colaboradores e o enriquecimento do ensino superior, visa crescer, ser o melhor a converter conhecimento em valor e confirmar a forte identidade institucional como parceiro tecnológico das empresas [14].

[12] Engenharia + Design, da ideia ao produto. António Manuel Ramos, Carlos Moura Relvas, José António Simões, Luís Miguel Mota. 2017.

[13] <https://pocas.pt/>

[14] <http://www.inegi.pt/>

## Organização do Documento

No capítulo 2, são explicadas as metodologias e o processo de design escolhido. O capítulo 3 é constituído por toda a informação recolhida numa fase preliminar para poder justificar o conteúdo desenvolvido e sustentar a dissertação. O capítulo 4 é constituído pela fase de desenvolvimento de um conceito e geometria. No capítulo 5, a tecnologia é explorada e a geometria previamente desenhada, adaptada às capacidades de impressão do robô. Neste capítulo, é relatado a construção de todas as peças, o pós processamento utilizado e a instalação no Centro de Visitas. No capítulo 6 são realizadas conclusões.



# Metodologias

Para este projeto decidiu-se optar por uma estratégia de design tradicional, que foi sempre apoiada por programas de modelação, maquetes, protótipos ou testes experimentais para testar diferentes teorias ao longo da sua construção. "O método de aplicação do design não é nada mais do que uma série de operações necessárias, organizadas numa ordem lógica ditada pela sua experiência. O seu objetivo é alcançar resultados máximos com o mínimo esforço" [15].

Foi percebido também que o processo de Design é uma evolução natural que não é linear, mas que por sua vez segue sempre um caminho definido pelas suas lacunas e obstáculos [16]. Da mesma maneira, o processo de design escolhido não seguiu a estrutura que inicialmente se previa, destacou-se como um processo que sofreu alterações consoante as suas necessidades, pelo surgimento dos vários problemas que foram encontrados pelo caminho.

De qualquer das maneiras, com o objetivo de orientar esta tese, teve-se sempre em consideração a metodologia projetual "Green Rice" de Bruno Munari e um esquema de metodologias construído antes de se começar o projeto, para se tentar interpretar as principais etapas de desenvolvimento de uma forma clara (Gráfico 1).

"O problema em si conterà todos os elementos que tornarão a solução possível"  
Design as Art. Bruno Munari. 2008.

ESQUEMA DO QUADRO METODOLOGIAS NO DESENVOLVIMENTO DO NOSSO PROJECTO

PROGRAMA	PESQUISA	ESQUIÇO	DESENHO	MAQUETE	DIVULGAÇÃO	DISTRIBUIÇÃO	CLIENTE
QUESTÃO	MAPEAMENTO	EMOÇÃO	DECISÃO	3D	ARGUMENTOS	TRANSPORTE	IDENTIFICAÇÃO
DESAFIO	PRODUTOS	PESQUIZANTE	CERTEZA	MANUSEAMENTO	DEMONSTRAÇÃO	ARMAZENAMENTO	ENTREVISTAS
OPORTUNIDADE	FORUNS	PROCURA	LUCIDEZ	PRODUTO	ILUSTRAÇÃO		
LIMITES	PRÉMIOS	FAREJAR	OPÇÃO	TESTES	FOTOGRAFIA	SUCCESSO:	
AMBIÇÃO	COMENTÁRIOS	TATEAR	ALÇADOS	ERGONOMIA	VIDEO	PRODUTO	APÓS-
ORÇAMENTO	TEXTOS	DISPONÍVEL	CORTES	REISTÊNCIA	TEXTO VANTAGENS	PREÇO	ANÁLISES
DATAS	CATÁLOGOS	CONVERSAÇÃO	PLANTAS	PESO	TEXTO DE USO	PROMOÇÃO	COMENTÁRIOS
PRAZOS	HISTÓRIA	APROXIMAÇÃO	MEDIDAS	SOLDAS	ARTIGOS	PLACE (LOCAL)	CRÍTICAS
FASES DO PROJ.	SUCESSOS	FOCAGEM	FICHA TÉCNICA	ENCAIXES	ENTREVISTAS		AJUSTES
	PROBLEMAS	AJUSTE		MONTAGENS	CRÍTICAS SECTOR		REDESENHO
			PESOS		FEIRAS		
MEIOS	LOCALS	COLAGENS	ESPECIFICIDADES	CONSCIÊNCIA	PRÉMIOS		
CONCORRÊNCIA	FOTOGRAFIA	SOBREPOSIÇÕES		EQUILIBRIO			
	LEMBRETES	TRANSPARÊNCIAS	SEPARAÇÃO		EMBALAGEM		
	REGISTOS	SOMATÓRIOS	DISCIPLINAS		FOLHETO		
	OBJECTOS	COMENTÁRIOS	MONTAGEM		MONTRA		
	MATERIAIS		ENCAIXE		INTERNET		
					BLOGS, SITES, ...		
	VIZINHANÇAS				PUBLICIDADE		
	LIMITES						

Em primeiro lugar, quando se identificou a possibilidade de realização de um projeto em parceria com o INEGI e a Poças, percebeu-se que seria importante não avançar para as fases seguintes, sem se definir os critérios de uma forma bem específica, para se perceber claramente a realidade da situação.

De seguida, no **Estado da Arte**, foi recolhida informação sobre duas áreas distintas: em primeiro lugar, sobre a área dos vinhos, onde foram visitados centros de informação como o museu World of Wine (WOW); o Instituto de Vinhos do Douro e Porto (IVDP); o centro de exposição da Poças e adega em Vila Nova de Gaia e foram estabelecidos contactos com profissionais dentro da área dos vinhos, como no evento "A Essência

[15] Munari, B.: Das Coisas Nascem Coisas, Lisboa: Edições 70, 2008.

[16] Leão, J.: Personal Electric Transportation (P.E.T Mini Skate) — Development of an Open Source, Recycled, Electric Skateboard, 2018.

Gráfico 1 - Esquema de metodologias de desenvolvimento. Esquema adaptado, disponibilizado pelo professor Luís Mendonça – Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto.

dos Vinhos” no Porto, que decorreu durante o período de pesquisa; em segundo lugar, sobre tecnologias de fabrico aditivo a níveis profissional, científico e literário para perceber que tipo de produtos é que existiam no mercado e que características é que poderiam ser aproveitadas.

As ferramentas de software CAD tiveram um papel fundamental no processo de desenvolvimento, por ocorrer um incidente no início dos testes de impressão e impossibilitar a utilização do robô durante aproximadamente cinco meses. No início, pretendia-se explorar a tecnologia e só depois construir uma geometria baseada nas capacidades do robô disponibilizado, no entanto a metodologia inicial teve que ser ligeiramente alterada.

Para não se desperdiçar tanto tempo, decidiu-se planear uma geometria baseada em conceitos teóricos de tecnologias semelhantes, antes de se começar a explorar e perceber as limitações do robô de impressão, "As vantagens da modelação CAD 3D incluem a capacidade de visualizar facilmente a forma tridimensional do desenho; a capacidade de criar imagens foto realistas para avaliação da aparência do produto; a capacidade de calcular automaticamente propriedades físicas, tais como massa e volume" [17].

Desta maneira, na fase de **Projeto**, procurou-se definir um conceito e desenhar uma geometria enquanto a tecnologia não estava operacional. Para além das fontes literárias, houve a procura e contacto com especialistas de diferentes áreas, como designers de som, músicos, engenheiros ou outros profissionais, que dependendo do campo de atuação, puderam dar pequenos contributos para uma construção viável do projeto, “os futuros designers terão que desenvolver habilidades e ser capazes de construir e utilizar conhecimentos que lhes permitam dar contributos significativos e fazer esforços colaborativos envolvendo especialistas de disciplinas fora do design” [18].

De maneira a tentar enquadrar a Poças com o projeto, inspirado numa das peças mais fotografadas do seu Centro de Visitas - nove garrafas com diferentes vinhos de diferentes tonalidades - decidiu-se criar um artefacto que exibisse as suas cores e despertasse ainda mais a curiosidade dos visitantes através de soluções baseadas na interação. Posteriormente, começou-se a procurar empresas que pudessem colaborar com o projeto e surgiu assim a parceria com o INEGI, que possibilitou a utilização de uma tecnologia de impressão 3D de grande escala.

Um dos aspetos fulcrais para a valorização e atratividade do projeto, foi a idealização de uma peça sonora com luzes e sensores de movimento, que pôde contribuir com sons produzidos pelos músicos portugueses Manel Cruz e Nuno Mendes, que tornaram a experiência ainda mais imersiva e sensorial. “A música é uma das expressões fundamentais da cultura humana e raramente a reação do ser humano é indiferente a um discurso musical... provoca associações no ser humano através de harmonias, timbres, performances...” [19].

Por fim, na fase de **Produção**, procurou-se explorar e compreender as características do robô de impressão com a tentativa de tentar ajustar a geometria previamente criada ao robô utilizado. Esta tecnologia é constituída, maioritariamente, por um braço robótico industrial fabricado pela KUKA - empresa alemã especializada em robôs e sistemas de automação industriais [20] – e também constituído por um robô de extrusão E25 da CEAD e respetivos componentes - fornecedor na vanguarda de tecnologias de fabrico aditivo de compósitos [21]. A produção de todas as peças envolveu a utilização de polipropileno reforçado com 30% de fibra de vidro fornecido pelo INEGI. Após se aperfeiçoar a tecnologia, foi possível imprimir 18 componentes viáveis para exposição. Foram produzidas peças com 1,20 metros de altura e pesos até 30 quilogramas, todas impressas com um bico e tamanho de extrusão de 10 milímetros,

[17] Ulrich, T., & Eppinger, S.: Product Design and Development. New York: McGraw-Hill Companies, Inc., 2012.

[18] Elisabeth Sanders. Envisioning futures of design education: an exploratory workshop with design educators”.

[19] Sá, J.: DESIGN E MÚSICA. Criação de um artefacto musical para Manel Cruz, 2020.

[20] KUKA, <https://www.kuka.com/en-us>, 2022.

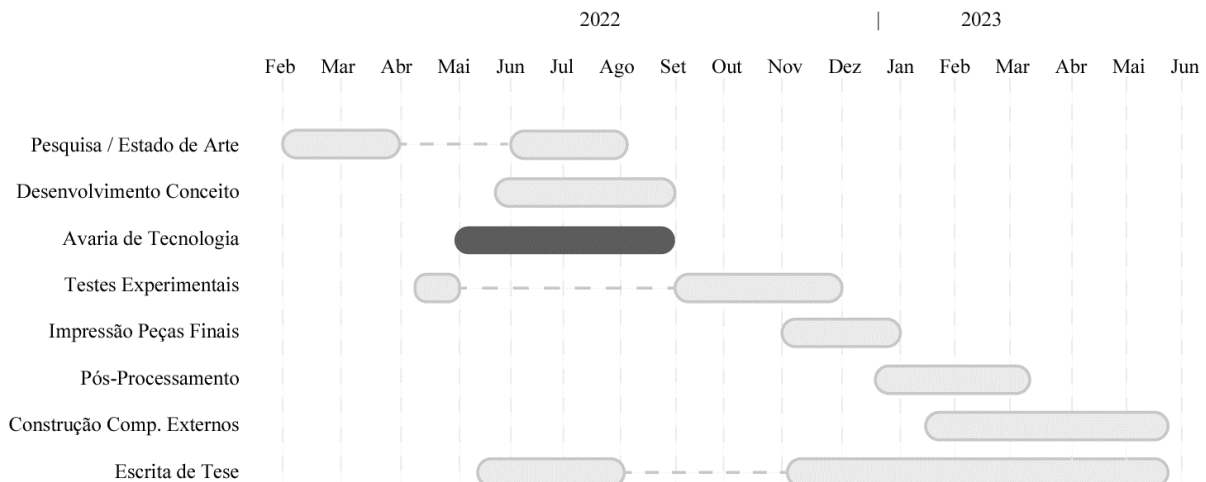
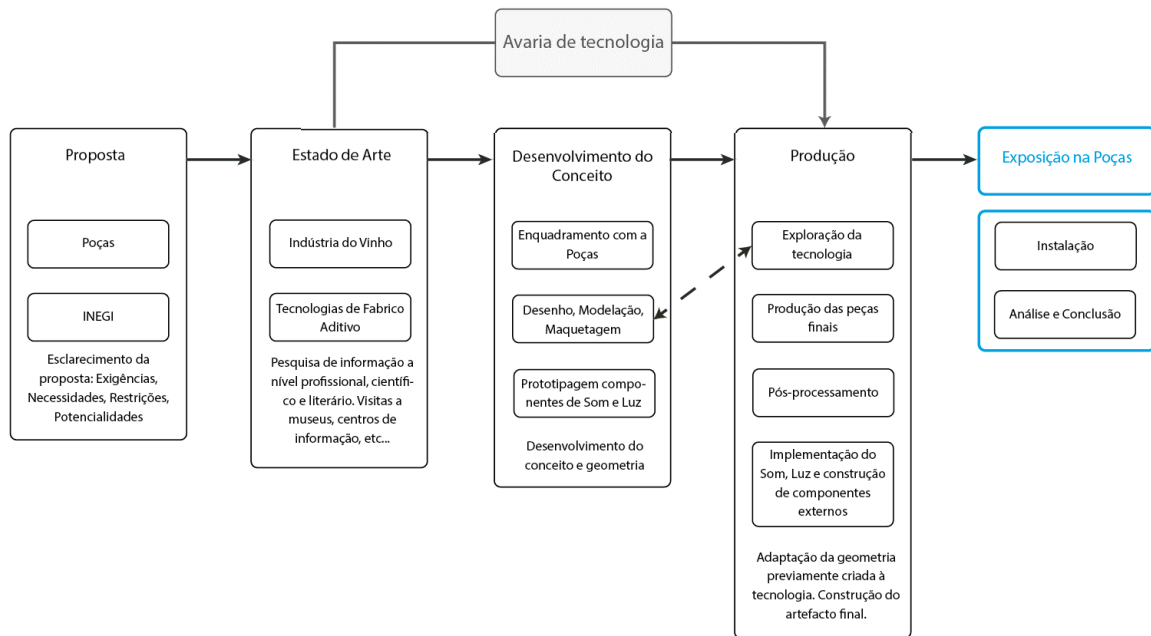
[21] CEAD, <https://ceadgroup.com/>, 2022.

temperatura de 270 graus Celcius de extrusão, e a velocidades até 3000 milímetros por minuto.

Durante a exploração do robô, foi fulcral o contacto próximo com os profissionais do INEGI nos laboratórios de fabrico aditivo e equipa de Desenvolvimento de Produtos e Sistemas, que se disponibilizaram para ajudar na construção deste projeto, garantiram que tudo funcionasse em segurança e permitiram um conhecimento mais aprofundado sobre a tecnologia utilizada.

## Diagrama Conceptual e Organigrama

Para se perceber melhor a organização deste projeto, realizou-se um diagrama concetual com as etapas principais e um organigrama que as distribui pelo tempo de construção do projeto.



## Estratégias de visualização e programas utilizados

Ao longo do projeto foram utilizadas várias estratégias para auxiliar a visualização de ideias e desenvolver o processo criativo.

Na fase de pesquisa, foram utilizados MindMaps, Brainstormings ou MoodBoards por permitirem uma exploração visual de formas, cores, ou conceitos que, numa fase inicial de design de produto, mostraram-se convenientes para agrupar informação e gerar ideias ao longo da sua construção.

O desenho sempre esteve presente ao longo do desenvolvimento e foi bastante importante para interpretação de ideias. “Na conceção e veiculação das mensagens visuais, cabe ao desenho um papel crucial. Sendo a matriz do pensamento visual, ele é a ferramenta básica de toda a construção gráfica e plástica [22].

Para além disso, vários foram os programas de computador utilizados, que dependendo da fase de atuação, tiveram um papel fundamental a desempenhar. Os programas de modelação 3D habilitam a visualização de peças de design ou engenharia a três dimensões, podem criar imagens realistas virtuais e possibilitam prever o comportamento de diferentes materiais [23]. Para além disso, com a utilização de tecnologias de impressão 3D, é possível a criação de protótipos num prazo muito curto que possibilitam a visualização de conceitos de uma forma rápida e barata, aumentando a facilidade de como estes podem ser comunicados com membros de equipas ou potenciais clientes [24].

Para modelação foi utilizado o Autodesk Fusion 360 e o Blender3D. O Fusion 360 foi escolhido por possibilitar a construção de formas geométricas de uma maneira simplificada, rápida e segura. O Blender3D, foi utilizado para exploração de formas mais orgânicas e complexas, pela versatilidade que possui na criação de geometrias e texturas volumétricas.

Para construção de imagens realistas e apresentação de ideias virtuais, foi utilizado o Keyshot, com o apoio de programas como Photoshop, Procreate ou semelhantes.

Com o objetivo de alargar a geração de ideias, durante a fase de pesquisa e de projeto, foram realizadas reuniões, semanalmente, com o orientador e colegas de curso onde foram apresentadas ideias e trocadas opiniões que proporcionaram uma análise crítica e construtiva ao longo da fase de desenvolvimento.

Gráfico 2 – Organização do processo de Design construído. (Página anterior)

Gráfico 3 - Divisão Cronológica das etapas do projeto. (Página anterior)

[22] Mendonça, R. (2010). Desenho Pensar, Agir, Comunicar. Modo de Ler - Editores e Livrários.

[23] Leão, J.: Personal Electric Transportation (P.E.T Mini Skate) — Development of an Open Source, Recycled, Electric Skateboard, 2018.

[24] Ramos, A., Relvas, C., Simões J., Mota, L.: Engenharia + Design, da ideia ao produto, PUBLINDUSTRIA, 2017.



3

# Estado da Arte

## Revisão de Literatura

Nesta secção, pretende-se mostrar toda a investigação realizada previamente para apoiar a construção da dissertação e mostrar não só o potencial das técnicas de fabrico aditivo, como também validar o desenvolvimento de um projeto pertinente de acordo com os critérios estabelecidos, tanto para o INEGI que disponibilizou a tecnologia, como para a Poças à qual se destina o projeto.

Esta pesquisa dividiu-se essencialmente em duas secções: em primeiro lugar, foi realizado um estudo sobre a área dos vinhos, onde foram visitados centros de informação de maneira a enquadrar o tema da tese com o produto a desenvolver e em segundo lugar, foi realizado um estudo sobre tecnologias de fabrico aditivo, que tipo de produtos é que existiam no mercado e que aspetos mais importantes é que se deveria ter em consideração no futuro.

É importante referir que nesta fase inicial de pesquisa, ainda não se tinha estabelecido um contacto direto com a tecnologia de impressão e, conseqüentemente, foi realizado um estudo dedicado ao conjunto geral de tecnologias de fabrico aditivo, visando entender os conceitos base até se começar a explorar a tecnologia disponibilizada pelo INEGI.

## 1 – O Vinho

Para nos enquadrarmos com o tema do projeto, foram feitas visitas a museus, instituições e lojas mais conhecidas dentro do distrito do Porto e decidiu-se relatar a informação que se achou mais relevante para tornar possível a definição de um conceito. É importante referir que a maior parte da informação se deve a apontamentos retirados do museu World of Wine em Vila Nova de Gaia (WOW) e do Instituto de Vinhos do Douro e Porto (IVDP) no Porto.

### Introdução

“O SEGREDO DO VINHO DO PORTO REVELA-SE NAQUILO QUE ESCONDE”  
100 ANOS 100 OBJETOS. Emílio Remelhe, João Ferrand. 2018.

O Vinho é, genericamente, uma bebida alcoólica produzida por fermentação do suco de uva e definido na União Europeia como um produto obtido exclusivamente por fermentação parcial ou total de uvas que podem ter diferentes variedades.

Sendo um produto de grande consumo e popularidade, de grande história e gama de produtos ao longo de todos os continentes, em Portugal, apesar da sua pequena superfície terrestre, existe uma variedade enorme de tipos de solos e condições topográficas, que explicam a riqueza do país em diferentes variedades de uva e extraordinária diversidade de vinhos portugueses.

Apesar da transformação de uvas em vinho ser uma parte fundamental para uma boa qualidade, a principal característica de um vinho, está relacionada com a variedade do fruto, com o processo de desenvolvimento e cultivo da vinha. Durante a fase de plantação existem quatro fatores principais que favorecem o seu crescimento:

- **Os solos** que são representados pela terra e as rochas que alimentam a videira e determinam os nutrientes que são absorvidos de maneira a influenciar o carácter do vinho;
- **O calor** que influencia o clima e queima as varas após a poda que as protege contra fungos nocivos;
- **O ar** que é movido pelo vento e que pode influenciar tanto o calor ou o frio, secura ou humidade da vinha, benigno ou maligno consoante o clima;
- **E a água**, que corresponde a quatro quintos do volume final de um vinho e mantém as folhas verdes para que estas possam absorver a energia do sol e produzir as uvas.

### Processos de Produção de Vinho

Os processos de produção do vinho dependem sempre do estilo de cada produtor, mas achou-se importante perceber alguns dos mais importantes para a construção de um conceito:

Durante a primeira fase, a colheita, realizada em diferentes épocas conforme a variedade da uva, são criados vinhos diferentes pelas uvas maturarem de maneira distinta e nem sempre ao mesmo ritmo dependendo de cada ano de viticultura. Nesta fase, as uvas, depois de colhidas e selecionadas, são transportadas para a adega onde são retiradas as folhas e escolhidos os galhos de melhor qualidade para serem colocadas na desengaçadeira.

Posteriormente, removem-se os engaços, são retirados os bagos e as uvas são pisadas pela energia do homem ou com recurso a máquinas modernas. De seguida é realizada a extração de todo o líquido das uvas utilizando uma prensa mecânica (prensagem), que permite a extração do sumo e da polpa das peles. Nesta fase, realiza-se a fermentação do vinho que permite a transformação dos açúcares presentes no mosto em álcool.

Na produção de um vinho branco, as uvas são normalmente prensadas antes da fermentação, com o objetivo de extrair o sumo e separá-lo das películas para impedir que os compostos fenólicos, como os taninos, passem das películas para o sumo e contribuam para um amargor excessivo e desenvolvimento precoce da cor.

Por outro lado, nos vinhos tintos, a prensagem ocorre geralmente após a fermentação, uma vez que é necessário extrair os compostos que darão origem à cor, aroma e estrutura das películas dos bagos.

A fermentação é interrompida de acordo com a opinião do enólogo, pela adição de aguardente vínica. No final do processo, o vinho fica apto a permanecer em repouso em tonéis, cubas ou balseiros em amadurecimento ou envelhecimento e posteriormente é trasfegado para remover os seus sedimentos. De seguida enche-se os cascos que serão transportados para os entrepostos e os vinhos ficam durante um período de estágio de 2 a 3 anos nas caves onde se processa a maturação [25].

#### Diferentes Tipos de Vinhos do Porto

De acordo com o IVDP, o Vinho do Porto distingue-se dos comuns pelas suas características particulares numa vasta gama de doçuras e grande diversidade de cores.

A cor dos diferentes tipos de Vinho do Porto, é possível para todas as tonalidades entre o retinto e o alourado-claro, que estão relacionadas com a tecnologia de produção e em termos de doçura. O Vinho do Porto pode ser muito doce, doce, meio-seco ou extrasseco e a doçura do vinho constitui uma opção de fabrico, que é condicionada pelo momento de interrupção da fermentação.

Segundo Magda Barata em Identidade do Vinho do Porto [26], os Vinhos do Porto, podem ser divididos em quatro categorias consoante o tipo de envelhecimento:

- **Estilo Ruby**, vinhos que procuram sustentar a evolução da cor tinta, mais ou menos intensa, e manter o aroma frutado e vigor dos vinhos jovens. Neste tipo de vinhos, por ordem crescente de qualidade, inserem-se as categorias Ruby, Reserva, Late Bottled Vintage (LBV) e Vintage, que poderão ser guardados por envelhecerem bem em garrafas.

- **Estilo Tawny**, obtido pela mistura de vinhos de grau de maturação variável, conduzida através do envelhecimento em cascos ou tonéis. São vinhos em que a cor se enquadra dentro do tinto-alourado, alourado ou alourado-claro, os aromas lembram os frutos secos ou a madeira e quanto mais velho for o vinho, mais acentuadas se notam estas características. As categorias existentes são: Tawny, Tawny Reserva, Tawny com Indicação de Idade (10 anos, 20 anos, 30 anos e 40 anos) e Colheita. São vinhos de lotes de vários anos, exceto os Colheita e quando são engarrafados estão prontos para serem consumidos.

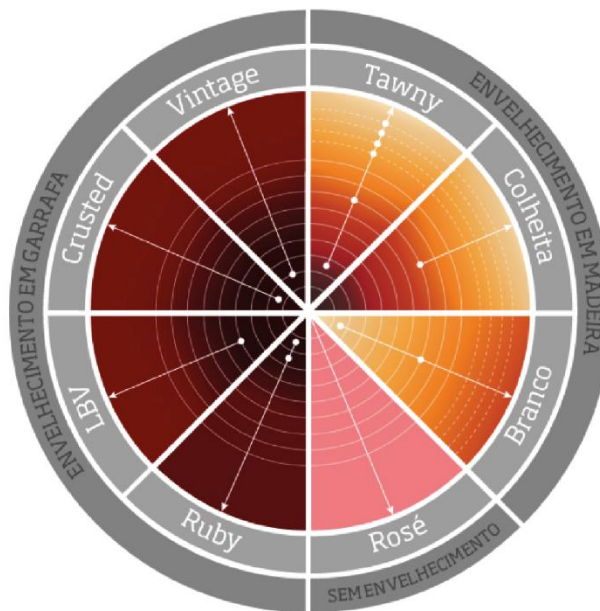
- **Estilo Branco**, que se apresenta em vários estilos associados a períodos de envelhecimento mais ou menos prolongados e a diferentes graus de doçura (extra seco, seco, meio seco, doce, muito doce ou lágrima), que resultam do modo como é conduzida a sua elaboração. Para além da doçura, há também variações de estilo

[25] Identidade do Vinho do Porto, pela tradição da sua embalagem. Magda M. S. Barata. Universidade de Aveiro. 2009.

[26] Identidade do Vinho do Porto, pela tradição da sua embalagem. Magda M. S. Barata. Universidade de Aveiro. 2009.

de vinificação e existem vinhos com aromas exuberantes, frescos e outros com um perfil mais tradicional, com aromas mais melados e de frutos secos.

- **Estilo Rosé**, são vinhos de cor rosada obtidos por maceração pouco intensa de uvas tintas onde não se promovem fenómenos de oxidação durante a sua conservação. São vinhos para serem consumidos novos, com boa exuberância aromática com notas de cereja, framboesa e morango. Na boca são suaves e agradáveis e devem ser apreciados frescos.



### Visitas de Campo

Por outro lado, decidiu-se realizar um levantamento de projetos de design na área dos vinhos, maioritariamente relacionados com a Poças, que contribuíssem para a valorização das marcas e destaque a nível de mercado.

Em julho de 2016, foi realizada uma exposição no IVDP, constituída por esculturas de Luís Mendonça que nasceram de uma aproximação ao universo do Vinho do Porto e que resultam de um exercício de design em torno da marca Poças Junior. Neste projeto, “Thirty Three Poças”, Luís Mendonça desenvolveu trinta e três esculturas que ilustram metáforas em torno do vinho, sempre com o formato de uma garrafa “escondido”.

Estes objetos valorizam, fomentam uma relação com o público e remetem para a sofisticação e este projeto procurou estimular em cadeia, promover formas de produzir, de distribuir, de comercializar e de consumir o vinho. Teve a capacidade de desafiar os enólogos a experimentar novas sensações, a conquistar novos sabores e aromas, de levar a empresa a proporcionar novos produtos, de entusiasmar intermediários e aproximar-se de potenciais consumidores. “Entendendo o novo público-alvo, havia que sublinhar, enfatizar, tirar partido e vantagem das características e potencialidades do Vinho do Porto: Doce, poderoso, misterioso, especial, sedutor, reservado, intimista, popular ...” [27].

Figura 1 - Diferentes tipos de vinhos do Porto. Wines of Portugal.  
<https://winesofportugal.com/en/portuguese-wines/wine-styles/vinho-do-porto/>, 2022.

[27] Mendonça, L., Thirty Three Poças!, Eterogemeas.com, janeiro 2017.



Com estes objetos, várias foram as estratégias utilizadas para valorização da marca. Numa das visitas realizadas ao atelier do professor Luís Mendonça, constou-se que para além da exposição no IVDP, estas peças tiveram oportunidade de aparecer em várias revistas como a VINHOS ou a revista UP Magazine (TAP Portugal). Eis alguns exemplos fotografados:



Figura 2 a 4 – Fotografias pelo professor Luís Mendonça, IVDP 2016.

Figura 5 e 6 – Fotografia da capa da revista VINHOS e imagem do objeto ExtintingWisher utilizada numa das páginas da revista (disponibilizada pelo professor Luís Mendonça).



Vários destes objetos também foram expostos em montras, restaurantes, em lojas de vinhos ou outros centros de visitas e também foi realizado um stand de vinhos do Douro de grandes dimensões em forma de garrafa com iluminação interior para cativar a atenção de visitantes, desenvolvido em 2017 pelo mesmo autor (figura 8).

Figura 7 e 8 – Fotografia da capa da revista UP (TAP Portugal) e imagem do objeto GETfree utilizada numa das páginas da revista (disponibilizada pelo professor Luís Mendonça).

Figura 9 e 10 – Montra de uma loja em Lisboa com a escultura ExtingWisher em exposição e stand de vinhos do Douro de Luís Mendonça. Fotografias fornecidas pelo autor.



Posteriormente em janeiro de 2017, o projeto “Thirty Three Poças” foi inaugurado no Centro de Visitas da Poças e até ao momento, várias peças estão ainda espalhadas pelo local.

Como mencionado na introdução e averiguado através do site da Poças, em 2019 foi desenvolvido também o projeto “Poças Fora da Série” que dando continuidade à cultura e à arte iniciada em 2017 com Luís Mendonça, o conceito “Fora da Série” surgiu com uma especial ligação a diferentes movimentos artísticos, apoiando e homenageando o talento português nas suas mais variadas formas de expressão. Foi criada uma série de garrafas de edição limitada, onde vários artistas como a bailarina e coreógrafa Cristina Planas Leitão, a ilustradora Mariana, a Miserável, a modelo atriz e poeta Sónia Balacó e o diretor de fotografia Rui Poças foram convidados para se ir “ao encontro das histórias de artistas portugueses que ousam pensar e fazer diferente, desenhando o seu futuro com ousadia e sem rótulos”.

Neste mesmo ano, nasceu também o Trava-Línguas Tinto com a colaboração de André da Loba, que reúne uma série de rótulos únicos e divertidos para dar vida e cor a alguns trava-línguas com recurso a aplicações de realidade aumentada. As ilustrações originais presentes em cada uma das suas identidades, são o resultado do desafio que a Poças lançou a alguns ilustradores de renome, espalhados pelo mundo.



Para além destas exposições relacionadas com a Poças, teve-se o cuidado de fazer uma visita a um conjunto alargado de caves para perceber os pontos fortes de exposições ou interpretar diferentes estratégias que outras empresas usam para atrair clientes:

- Na maioria das visitas haviam garrafas ou objetos de história expostos em vitrines com diferentes tipos de iluminação e percebeu-se que algumas ideias poderiam ser vantajosas para o projeto. Destacaram-se alguns exemplos de garrafas de vinho que estavam expostas à frente de fundos com informações ou paisagens iluminadas e proporcionavam efeitos interessantes para os visitantes:



Figura 11 – Imagem de três garrafas com diferentes ilustrações animadas através de aplicações de realidade aumentada. Poças. <https://pocas.pt/criatividade-e-inovacao/>

Figura 12 – Garrafa exposta com fundo iluminado. Espaço Porto Cruz. Vila Nova de Gaia.

Neste último exemplo, apontou-se a existência de uma distorção da realidade bastante visível proporcionada pela geometria da garrafa que poderia variar de garrafa para garrafa. Pensou-se que se poderia tentar recriar o contrário ao utilizar um fundo distorcido que com uma garrafa à frente se tornasse perceptível.

- Numa situação semelhante, percebeu-se que poderiam existir efeitos interessantes com a iluminação de garrafas através de leds direcionados para o vinho e colocados em sítios estratégicos:



Nestes dois últimos exemplos, fotografaram-se leds escondidos em prateleiras e o respetivo resultado que faz com que as garrafas com vidro fosco pareçam que têm luz no interior. No entanto percebeu-se que o mesmo efeito não se aplica de uma maneira tão forte a garrafas com um vidro completamente transparente. De qualquer das maneiras, a utilização de fontes luminosas poderia ser um aspeto de grande importância para o destaque dos vinhos na Poças.

- Reparou-se também que em algumas das caves visitadas existiam lugares estratégicos com esculturas de grande escala para os visitantes interagirem e poderem ser fotografados com estas:



Figura 13 e 14 – Montra de vinhos iluminados com diferentes efeitos dependendo da transparência da garrafa e cor do vinho. Real Companhia Velha. Vila Nova de Gaia.

Figura 15 - Lugar de atratividade para captura de fotografias com o logotipo da empresa; SANDEMAN. Vila Nova de Gaia.

A fotografia anterior mostra uma escultura nas caves da SANDEMAN à saída de uma das lojas da empresa para fotografias de recordação.

- Destacou-se também uma escultura Espaço Porto Cruz, colocada no teto com as diferentes cores de um vinho e onde cada uma continha objetos alusivos às etapas de criação do vinho: na primeira cor, ramos de vinha relativos à colheita, na segunda cor cascos de pipas relativas às fases de maturação, no terceiro garrafas de vinho relativas ao engarrafamento e por último no quarto as rolhas de cortiça de garrafas como mostrado nas imagens seguintes:



- Semelhante às esculturas anteriores, reparou-se também que em quase todas as caves eram explicados os diferentes tipos de vinho, através da exposição de garrafas de diferentes variedades em vitrines iluminadas. A utilização de vitrines impede o contacto dos visitantes com o produto, mas pode também impedir que estes vejam pontos de iluminação que poderiam ser estrategicamente escondidos para proporcionar efeitos de iluminação misteriosos.

Figura 16 a 19 – Escultura na loja das caves do Espaço Porto Cruz. Vila Nova de Gaia.

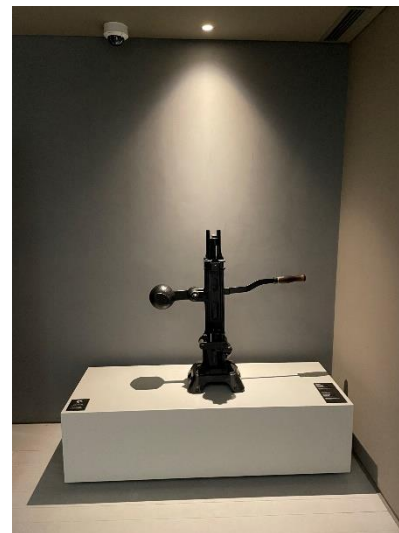


- Por último, reparou-se também na colocação de peças antiquadas com história em algumas exposições, e a tentativa de representação de peças similares poderiam ser interessantes com a utilização de tecnologias de impressão 3D de grande escala.



Figura 20 – Exposição de diferentes garrafas de vinhos e objetos de história. SANDEMAN. Vila Nova de Gaia.

Figura 21 e 22 – Exposição de antiguidades. Real Companhia Velha. Vila Nova de Gaia.



## Resumo dos Vinhos

A pesquisa realizada nesta secção contribuiu para nos enquadrarmos com o Vinho e adquirir referências para facilitar a definição de um conceito. Achou-se importante recolher informação sobre as fases de plantação da vinha e aspetos fulcrais para o seu bom crescimento, processos de produção e diferentes tipos de vinho.

Visando perceber o historial da Poças, fez-se um levantamento de projetos de design dentro da empresa que contribuíram para a valorização da marca. Os projetos analisados foram maioritariamente construídos pelo designer e professor Luís Mendonça, pela facilidade em contactar o artista, porém foram analisados outros projetos que poderiam trazer ideias pertinentes no futuro, como a utilização de aplicações de realidade aumentada para interação com os visitantes ou realização de colaborações com diferentes artistas e movimentos.

Posteriormente, foram feitas visitas a caves e museus para interpretar os pontos mais fortes de exposições e perceber diferentes estratégias para atrair clientes. Nesta pesquisa, realçaram-se diferentes tipos de iluminação para valorizar diferentes produtos; destacou-se a presença do tema relativo às fases de produção ou diferentes cores do vinho; ou a utilização de artefactos interativos em locais estratégicos para os visitantes poderem tirar fotografias e assim divulgarem a marca.

## 2 - Fabrico Aditivo

### Introdução

O termo “fabrico aditivo” é dado aos processos que permitem criar peças através da adição de material, camada após camada. Esta tecnologia não requer blocos de material nem moldes para produzir objetos físicos e até recentemente era utilizada apenas para prototipagem rápida [28]. O fabrico aditivo apresenta uma evolução constante e a sua curva de inovação tem crescido bastante nos últimos 10 anos [29] e com o aumento da globalização, o desejo de colocar produtos o mais rapidamente no mercado, fez com que as empresas começassem a utilizar esta tecnologia para produção de peças finais [30]. Segundo Ben Redwood “muitas vezes a consideração mais importante na conceção de peças para a produção é o método de fabrico”, mas o fabrico aditivo, desenvolveu-se numa fase posterior em que a necessidade de fabricar ferramentas foi eliminada [31]. Desde surgimento desta tecnologia, na década de 1980, os métodos de manufatura desenvolvidos antes desta data, começaram a ser chamados de manufatura tradicional, mas de uma maneira geral, as tecnologias de produção podem ser inseridas dentro de 3 grupos principais [32]:

- **Os processos formativos**, são aqueles que normalmente produzem a forma desejada através da moldação do material por pressão e calor. A matéria prima pode ser fundida e extrudida como na injeção; fundida e vertida como na fundição ou prensada como na estampagem. Estas tecnologias são mais adequadas para produção de peças em grandes quantidades, exigindo um grande investimento inicial, que posteriormente permite o fabrico a preços unitários muito reduzidos e a grande velocidade. Produzem peças a partir de uma grande variedade de materiais (tanto plásticos como metais), mas a conceção de produtos pode ter várias limitações como espessuras de moldação ou ângulos para possível extração;

- **Os processos subtrativos** como maquinagem ou torneamento, consistem na remoção de material através de uma ferramenta de corte e são mais adequados para peças com geometrias relativamente simples e produções de baixas quantidades. Este tipo de processo é capaz de produzir peças de alta precisão com excelente acabamento superficial. Para a maioria dos desenhos, o fabrico subtrativo é o método de produção mais rentável, mas é também considerado um processo de grande desperdício, devido às quantidades de material que são frequentemente removidas para produzir a geometria pretendida;

- **Os processos aditivos**, como referido anteriormente, são processos que constroem modelos, camada após camada, por deposição de material, num processo que se baseia em dados digitais gerados a partir de um software. Existem várias tecnologias de fabrico aditivo, tendo cada uma delas as suas próprias vantagens, limitações e diferentes materiais para impressão. Uma das principais vantagens é que as peças podem ser produzidas em quase qualquer geometria e não dependem de ferramentas

[28] Engenharia + Design, da ideia ao produto. António Manuel Ramos, Carlos Moura Relvas, José António Simões, Luís Miguel Mota. 2017.

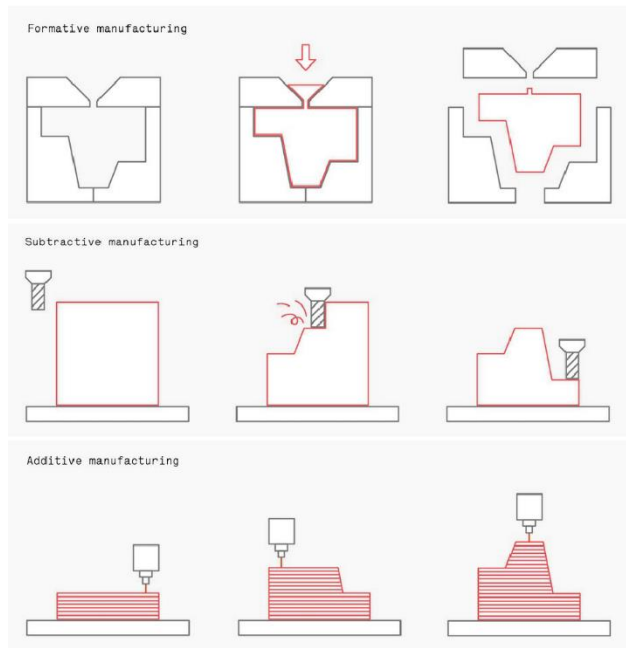
[29] Personal Electric Transportation (P.E.T Mini Skate) — Development of an Open Source, Recycled, Electric Skateboard. João Leão. 2018.

[30] Ramos, A., Relvas, C., Simões J., Mota, L.: Engenharia + Design, da ideia ao produto, PUBLINDUSTRIA, 2017.

[31] Redwood, B., Schöffner, F., Garret, B.: 3D Hubs, The 3D printing Handbook, Technologies, design and applications, Coers & Roest, 2017.

[32] Adaptado do curso online – Fundamentals of Additive Manufacturing - MIT.

muito dispendiosas, mas normalmente, são adequadas para baixos volumes de produção.



Como mencionado por Paul Hart, no curso online Fundamentals of Additive Manufacturing do MIT, o custo de produção é um dos fatores mais determinantes de como uma peça deve ser produzida e a manufatura pode ser definida como “valor à escala”. Normalmente, para se levar produtos ao mercado e obter lucro, deve-se produzir em grandes quantidades devido ao investimento inicial em máquinas e ferramentas. No entanto, como a impressão tridimensional não é limitada pelos métodos tradicionais de moldação ou maquinagem, pode ser mais vantajosa a sua utilização por se poupar em não utilizar diferentes tecnologias para a construção de uma mesma peça.

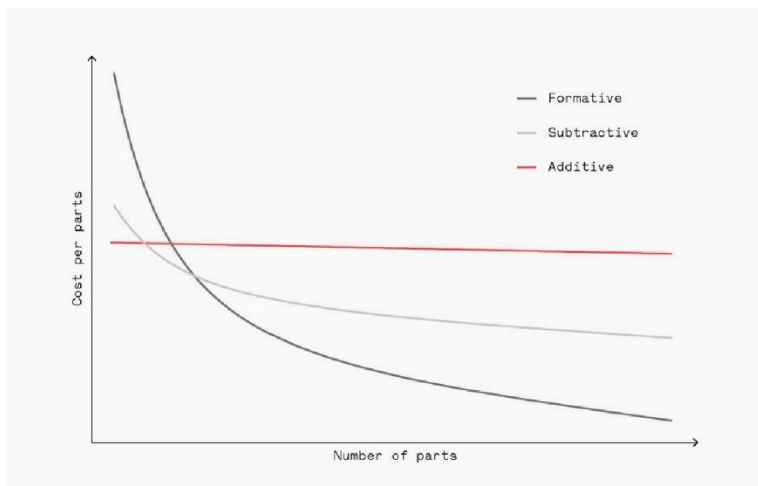


Figura 23 - De cima para baixo: processos formativos; processos subtrativos; processos aditivos. 3D Hubs, The 3D Printing Handbook.

Em termos de valor económico os processos formativos são os mais viáveis com o aumento do número de peças, no entanto nem todas as geometrias podem ser impressas nesta tecnologia. Por exemplo, se considerarmos o conjunto de peças da Figura 25, onde o grau de complexidade aumenta da esquerda para a direita, se compararmos um

Figura 24 - Variação do preço por peça dos processos formativos, subtrativos e aditivos, com o aumento do número de componentes. 3D Hubs, The 3D Printing Handbook.

custo de produção por manufatura tradicional, por exemplo fresagem (processo subtrativo), com impressão tridimensional (processo aditivo), percebemos que na fresagem o preço aumenta com a complexidade porque a fresa tem que trabalhar mais tempo e retirar maior quantidade de material. Por outro lado, com a manufatura aditiva, o custo por peça diminui com o aumento da complexidade, uma vez que quanto menos material, mais barata é a sua produção. Existem sempre algumas desvantagens como qualidades de acabamentos, que neste caso seriam melhores por maquinagem, mas com a impressão tridimensional consegue-se sempre obter geometrias mais complexas do que por métodos tradicionais e até aumentar propriedades mecânicas como desempenhos através de redução de material.



Desta maneira, se considerarmos este exemplo e analisarmos o custo por peça, quando comparado com a complexidade, é possível perceber que a partir de uma determinada altura, para algumas peças, é mais vantajoso a sua produção por fabrico aditivo do que, neste caso, por maquinagem.

#### Tipos de tecnologias de fabrico aditivo:

Entender os princípios-chave de cada processo é essencial para selecionar o processo certo para uma determinada aplicação e conceber as operações necessárias. As categorias de fabrico aditivo podem ser divididas em 7 grupos, cada um com diferentes tecnologias de acordo com a norma ASTM/ISO 52900:2015:

- *Material Extrusion*: o material é dispensado seletivamente através de um orifício normalmente aquecido para amolecer ou derreter o material: FDM, FFF, BMD, ADAM, BAAM;
- *Vat Photopolymerization*: um líquido foto-polimerizado é seletivamente curado numa cuba através de uma luz ativada por foto-polimerização: SLA, DLP, DLS, GDP;
- *Powder Bed Fusion*: energia térmica focalizada funde seletivamente regiões de um leito de pó: SLM, DMLS, 3DMP, SLS, HSS, MJF;
- *Material Jetting*: gotas de material de construção são depositadas seletivamente, numa superfície: *Polyjet, Multijet, Nanoparticle Jetting*;
- *Binder Jetting*: gotas de material de um agente ligante líquido são depositadas selectivamente para ligar materiais em pó, normalmente seguido de sinterização para densificar o pó ligado: BJ, 3DP, SPJ, *Digital Metal, Powder Inkjet Printing*;
- *Direct Energy Deposition*: energia térmica concentrada é utilizada para fundir os materiais, fundindo-os à medida que estão a ser depositados: DED, EBAM, RPD, LTD, LMD, entre outros;
- *Sheet Lamination*: folhas de material são recortadas a laser e juntas camada após camada: CBAM, UAM, SDL.

Figura 25 - Evolução de modelação para exemplificação da vantagem de utilização do fabrico aditivo.

Como podemos verificar, existe uma vasta gama de processos relacionados com o fabrico aditivo, mas materiais possíveis para utilizar também. Da mesma maneira, percebeu-se que entender os princípios-chave de cada processo é essencial para seleccionar o mais certo para uma determinada aplicação e conceber as operações necessárias.

### Materiais de impressão 3D

Os 7 processos anteriormente analisados variam no formato e tipo de matéria-prima de acordo com a sua compatibilidade em cada uma das tecnologias. Estes materiais podem ser separados, maioritariamente, em três grupos principais:

- Os polímeros, em forma de filamentos, granulados ou resinas que podem ser divididos em dois grupos:
  - Termoplásticos - Representam cerca de 80% da totalidade das aplicações. Conseguem ser fundidos, solidificados e reaproveitados, mantendo, normalmente, as suas propriedades mecânicas.
  - Termoendurecíveis (Termofixos) - Após serem solidificados não podem ser fundidos e se submetidos a altas temperaturas, perdem a sua integridade estrutural. Não podem ser remodelados novamente.
- Os metais, são utilizados quase sempre sob a forma de pós metálicos e a sua utilização permite a impressão de peças de alta qualidade, resistentes e funcionais.
- Os compósitos, são utilizados com o objetivo de aumentar a resistência dos materiais, propriedades físicas, mecânicas, térmicas ou até acabamentos superficiais e aqui enquadram-se os filamentos reforçados com fibras de carbono, poliamida, vidro ou pós cerâmicos.

Na tabela seguinte é apresentado um espectro mais detalhado para cada um dos processos e respetivas compatibilidades:

	Forma de Alimentação	Thermo plásticos	Photo polímeros	Metais	Cerâmicos	Compósitos	Biomateriais	Multi materiais	Outros
Processo									
Extrusion	Filamento, Granulado	○	○	○	○	○	○	○	Comida, Cimento
Photopolymerization	Líquido		○	○	○	○	○		
Selective Laser Sintering	Pó	○			○	○			
Selective Laser Melting	Pó				○				
Binder Jetting	Pó			○	○		○		Açúcar, Areia, Gesso
Material Jetting	Líquido	○	○	○	○		○	○	
Directed Energy Deposition	Filamento, Po			○	○			○	
Sheet Lamination	Folha	○		○	○	○		○	Papel

Tabela 1 - Comparação dos diferentes materiais utilizados em cada uma das tecnologias. Adaptado do livro 3D Hubs, The 3D Printing Handbook.

## Projetar para impressão Tridimensional

Tendo em consideração que a tecnologia disponibilizada seria um robô de impressão 3D de grande escala, ao longo desta pesquisa, focou-se maioritariamente em tecnologias FFF (deposição de material por filamento) no entanto, quando uma tecnologia de grande dimensão é comparada com as de tamanho convencional, mesmo partilhando princípios semelhantes de construção, existem sempre algumas diferenças de utilização.

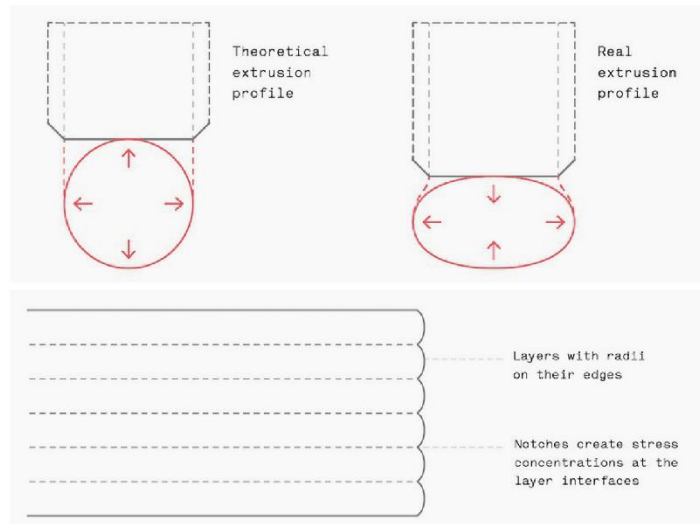
Com o objetivo de projetar uma peça de acordo com a tecnologia, recorreu-se ao livro 3D Hubs, The 3D printing Handbook, para perceber quais os princípios mais importantes a ter em consideração, uma vez que, como mencionado no livro, uma das principais razões pela qual uma peça pode não ser bem-sucedida durante a sua impressão, deve-se a problemas relacionados com o desenho da peça ou pouco conhecimento sobre a tecnologia com a qual estamos a lidar. Embora a liberdade de construção seja um dos pontos fortes da impressão 3D, o desenho de uma peça direcionada para uma determinada tecnologia de impressão 3D, exige regras de conceção específicas que devem ser respeitadas [33].

Alguns dos princípios que se deve dar mais atenção são:

### Altura e espessura das camadas

A altura de uma camada é um dos fatores que contribui melhor para uma boa qualidade e acabamento superficial. A sua diminuição proporciona melhorias de precisão, mas existe uma evolução prejudicial linear associada ao tempo e custos de impressão.

O diâmetro do filamento que sai da extrusora, está relacionado com o tamanho da boca de extrusão, porém as suas dimensões nunca são as mesmas que o diâmetro utilizado. Quando o material é extrudido, o extrusor comprimir a camada recentemente impressa sob a anterior para permitir aderência no material. Com isto, existe não só uma diminuição de altura, mas também um aumento da largura do perfil do filamento, portanto este aspeto pode ser relevante para peças com encaixes ou secções que necessitem de alto rigor dimensional. Percebeu-se também que para haver uma boa estabilidade e resistência, a espessura de uma parede de impressão deve ser pelo menos duas vezes maior do que o diâmetro do bico do extrusor para garantir a impressão de paredes com boas inclinações.



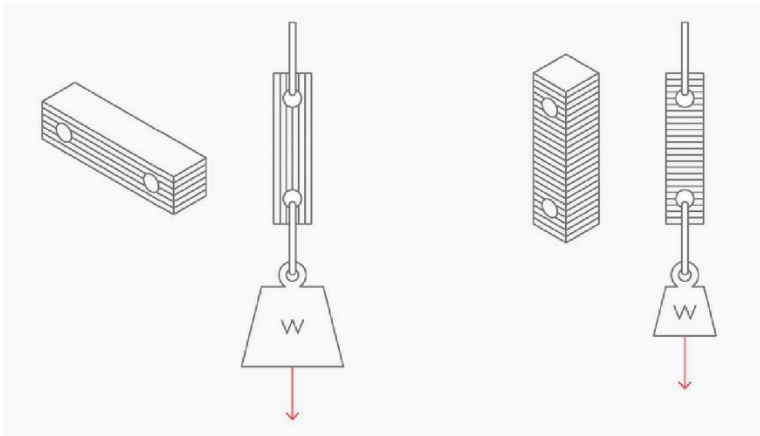
[33] Redwood, B., Schöffner, F., Garret, B.: 3D Hubs, The 3D printing Handbook, Technologies, design and applications, Coers & Roest, 2017.

Figura 26 – Explicação da compressão do filamento de extrusão. 3D Hubs, The 3D printing Handbook.

### Contrações e deformações

Após a impressão de uma peça, podem haver pequenas alterações a nível dimensional que normalmente estão relacionadas com tensões residuais provocadas por arrefecimentos não lineares ao longo de uma construção, mas isolar o ambiente de impressão para manter uma temperatura atmosférica invariável ou a utilização de paredes com a mesma espessura, pode proporcionar um arrefecimento constante ao longo de um mesmo perfil.

A força que uma peça consegue resistir pode variar consoante a sua posição de impressão. Uma das características desvantajosas desta tecnologia, é a impressão de peças anisotrópicas, onde as propriedades mecânicas variam consoante a posição de impressão. Quando se utiliza FFF para produção de peças funcionais, é importante ter em atenção a sua orientação, para garantir que o comportamento anisotrópico não afeta o seu desempenho.

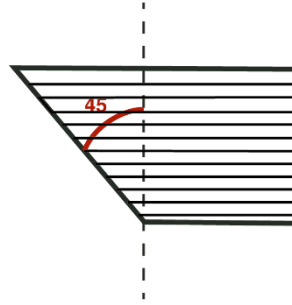


### Material de suporte

Normalmente, a utilização de material de suporte não é aconselhável pela sua difícil remoção. Mesmo havendo já materiais solúveis para esta função, a utilização destas pequenas estruturas proporciona sempre trabalhos extra ou estragos superficiais na sua remoção.

Quando uma camada é impressa e está apenas parcialmente suportada pela camada de baixo, existe a criação de uma saliência (um “overhang”) na superfície da peça. A criação de material de suporte, para que uma peça seja impressa com precisão, ocorre quando o ângulo relativamente à vertical entre camadas (figura 28) é superior a 45°. Semelhante a este conceito, quando existe a impressão de um filamento entre dois pontos distanciados sem utilização de material de suporte, existe a criação de uma ponte. Embora a eficiência de uma ponte seja muito dependente da impressora, não se recomenda que esta seja superior a 10 mm.

Figura 27 - Representação de uma peça impressa em diferentes orientações e sujeita à mesma carga de tração. Impressões com orientação de filamentos paralelos à carga exercida, proporcionam um melhor desempenho. 3D Hubs, The 3D printing Handbook.



### Enchimento

O enchimento numa impressão, está relacionado com a densidade interna de uma peça. Quanto maior for o preenchimento, maior a quantidade de material, peso, tempos e custos de impressão, mas a resistência aumenta proporcionalmente. A estrutura interna serve também para suportar as próprias camadas e existem vários padrões de enchimento que podem ser mais ou menos vantajosos consoante utilidade da peça.


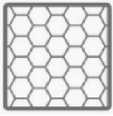


Forma	Descrição
	Padrão retangular Padrão de enchimento mais utilizado, tem boa resistência em todas as direções e é relativamente rápido para se imprimir.
	Padrão colmeia Padrão hexagonal que permite muito boa resistência em todas as direções, incluindo vertical.
	Padrão triangular ou diagonal Padrões triangulares demoram mais tempo a imprimir, no entanto são utilizados quando se precisa de resistência a forças em direções paralelas às paredes de impressão.
	Padrão wiggle Utilizados para peças que necessitam de ser macias, que precisam de ser torcidas ou comprimidas até uma determinada altura. Utilizado quando se utilizam materiais mais elásticos para impressão, como borracha ou TPU.

Figura 28 - Exemplificação do perfil de uma parede com inclinação máxima. Inclinações relativamente à vertical superiores a 45° necessitam da criação de material de suporte.

Tabela 2 - Diferentes padrões de enchimento e diferentes aplicações. Adaptado do livro 3D Hubs, The 3D printing Handbook.

Para além destas características, são várias as considerações que se podem ter presentes, quando se projeta para tecnologias de fabrico aditivo. O livro 3D Hubs, The 3D Printing Handbook, resume 10 princípios para todos os tipos de tecnologias, com os valores mais apropriados para a construção de um modelo eficaz. Visando a construção de um projeto em impressão 3D de grande escala, é importante ter em consideração os valores de tecnologias de pequenas dimensões, para tentar prever como é que estes se poderão vir a relacionar com a tecnologias de diferentes dimensões:











	Características	Impressão 3D Convencional
	Espessura de paredes que estão conectadas a mais do que um lado da impressão.	<b>0.8 mm</b>
	Espessura de paredes que estão conectadas a apenas um lado de impressão.	<b>0.8 mm</b>
	Overhang - Ângulo máximo que uma parede de impressão consegue ser impressa sem necessidade de criação de material de suporte.	<b>45°</b>
	Áreas acima ou abaixo da superfície de impressão.	<b>0.6 mm de largura, 2 mm de profundidade</b>
	A distância que uma impressora consegue imprimir entre dois pontos sem necessidade de criação de material de suporte.	<b>10 mm</b>
	O diâmetro mínimo que a tecnologia consegue imprimir um buraco na perfeição.	<b>2 mm de diâmetro</b>
	A folga necessária entre dois encaixes para que estes se consigam conectar.	<b>0.5 mm</b>
	O tamanho mínimo que uma estrutura deve ter para que não haja risco de queda na impressão.	<b>2 mm</b>
	O diâmetro mínimo que um pino consegue ser impresso.	<b>3 mm</b>
	A tolerância dimensional de uma determinada tecnologia.	<b>+/- 0.5 %, (Valor mínimo +/- 0.5 mm)</b>

Tabela 3 - Tabela adaptada do livro 3D Hubs, The 3D printing Handbook, com os 10 princípios mais importantes a ter em consideração quando se projeta para impressão 3D.

## Análise de Mercado

Com o objetivo de perceber melhor as vantagens e possibilidades da utilização de tecnologias de fabrico aditivo, analisou-se exemplos já construídos a nível científico, literário e profissional, para sustentar o projeto durante a fase de desenvolvimento.

Como referido na introdução, são várias as vantagens de impressão 3D. Quando comparada com métodos tradicionais de manufatura, por estes serem insustentáveis no que diz respeito a consumos de energia ou desperdícios de material, e processos de fabrico não renováveis, libertam gases com efeito de estufa, que representam graves ameaças para a saúde humana [34].

Para além disso, são várias as vantagens a nível de rapidez de produção ou de adaptação de produtos às preferências do utilizador, que se tornam possíveis pela única necessidade de impressão, ser a existência de um ficheiro CAD, que pode ser enviado rapidamente para empresas locais ou impressoras particulares. A capacidade de criar componentes com características estruturais e de composição únicas, impossíveis utilizando métodos tradicionais de fabricação, levou a uma expansão do interesse entre engenheiros e investigadores, tanto para materiais de escala de laboratório como para ambientes de produção de peças de grande dimensão [35]. Desta maneira, as tecnologias de fabrico aditivo podem mudar a maneira como diferentes empresas projetam e fabricam estruturas para aumentar a sua complexidade, personalização e até consolidação, proporcionando uma maior eficiência e funcionalidades da tecnologia [36].

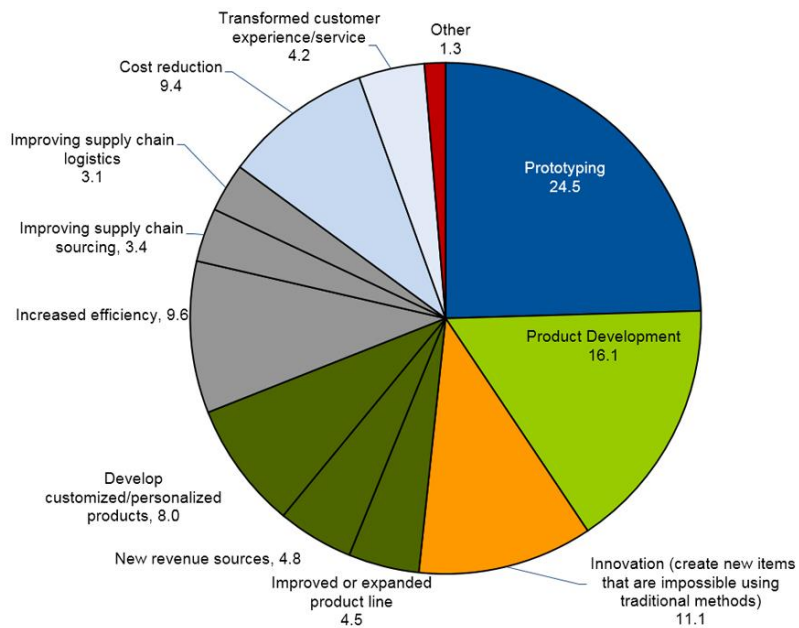
Atualmente, são várias as áreas onde as tecnologias de fabrico aditivo tem aplicação e segundo um relatório da plataforma Gartner (Gráfico 4), são utilizadas principalmente para áreas de prototipagem, desenvolvimento de produtos e inovação, mas segundo uma pesquisa mundial realizada em 2014, na mesma plataforma, já se utilizavam em muitas mais vertentes:

[34] Applications of additive manufacturing (AM) in sustainable energy generation and battle against COVID-19 pandemic: The knowledge evolution of 3D printing. Wang, Y. (2021).

[35] Ramos, A., Relvas, C., Simões J., Mota, L.: Engenharia + Design, da ideia ao produto, PUBLINDUSTRIA, 2017.

[36] Amit Bandyopadhyay, Kellen D. Traxel, Melanie Lang, Michael Juhasz, Noam Eliaz, Susmita Bose, Alloy design via additive manufacturing: Advantages, challenges, applications and perspectives, Materials Today. Volume 52. (2022)

Gráfico 4 - Razões pela procura de implementação de impressão 3D no mercado. R. van der Meulen, J. Rivera. Gartner (2014).  
<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2014-12-09-gartner-survey-reveals-that-high-acquisition-and-start-up-costs-are-delaying-investment-in-3d-printers>, 2022.



Com a possibilidade de realização de geometrias complexas, a utilização de processos como otimização topológica, considerando rigidez e tensões necessárias, tornam possível a melhoria das propriedades mecânicas e redução de consumos de energia ou materiais. Foi interessante perceber que é possível a construção de formas com recurso a modelos obtidos a partir de equações ou fórmulas matemáticas, que são de muito difícil ou impossível produção por métodos de manufatura tradicional.



No mesmo seguimento, percebeu-se que existem conceitos de estruturas geradas através de programas, baseados em padrões atribuídos pelo utilizador que poderiam ser aproveitados. Como referido no artigo *Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design* (2008), encontram-se exemplos de projeções de edifícios distribuídos em cidades, de uma maneira “quase aleatória”, baseados em parametrizações. Segundo o autor, o design é realizado a partir de técnicas de animação digital e os seus últimos aperfeiçoamentos, são baseados em sistemas avançados de desenho paramétrico e técnicas de programação. A parametrização é um processo que estabelece parâmetros para o desenvolvimento de algo que, dependendo dos valores utilizados, varia de iteração para iteração. Transpondo a definição para as tecnologias digitais, o design paramétrico destacou-se pelo desejo de inovação e controlo do processo projetual. Embora o uso do parametricismo tenha surgido em técnicas de animação digital em meados da década de 1990, só começou a ganhar sucesso nos últimos anos com o desenvolvimento de sistemas avançados de desenho paramétrico, onde se tornou num estilo dominante e vanguardista [37].

Assim, pensou-se que com o objetivo de demonstrar as potencialidades da tecnologia, poder-se-iam recriar geometrias ou superfícies através de programas de modelação e estudar padrões relacionados com o tema e criar texturas únicas durante a fase de desenvolvimento.

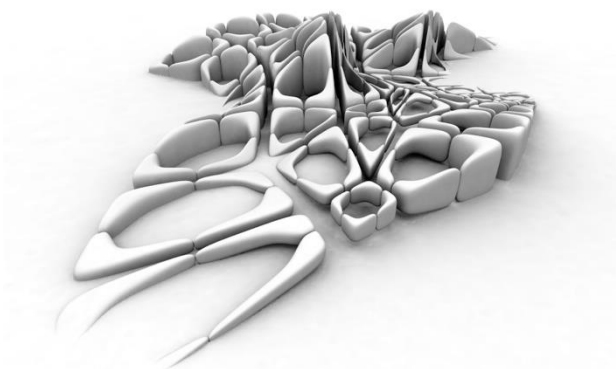


Figura 29 - Superfícies matemáticas concebidas por Bathsheba Grossman e Gyroid, respectivamente. Superfície de Seifert limitada por anéis Borromean (Segerman 2012).

[37] Patrik Schumacher. *Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design*. AD Architectural Design - Digital Cities, Vol 79. 2008.

Figura 30 - Exemplo de geometrias obtidas por parametrizações. *Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design*. 2008.

Da mesma maneira, decidiu-se analisar algumas estratégias que outros autores utilizam para a construção de produtos de design através de técnicas de impressão 3D de grande escala e assim, tentar perceber que importância é que estes fatores poderiam ter durante a fase de desenvolvimento ou para o produto final.

Um dos primeiros designers analisados foi Lilian van Daal [38], designer de produto, que tenta otimizar os métodos de produção e utiliza tecnologias e materiais inovadores através de soluções inspiradas na natureza:



Com este autor, surgiu a ideia de construção de peças com texturas inspiradas em design generativo e surgiu também a ideia de utilização de dois materiais distintos numa mesma peça, não só pela possibilidade de impressão de materiais diferentes no INEGI, como também pelo desafio de utilização e entendimento de peças produzidas por diferentes tecnologias.

Posteriormente, encontrou-se Philipp Aduatz [39], designer industrial, que trabalha também com materiais e tecnologias de fabricação inovadoras para criar objetos funcionais. Como referido pelo autor, a impressão 3D em betão é uma tecnologia de fabrico nova e inovadora que permite imprimir estruturas muito grandes e complexas num período de tempo muito curto. O artista, explora o tingimento de betão, aplicando um corante durante o processo de impressão diretamente no bocal de extrusão que permite um desenho ao longo das suas peças.



[38] Lilian Vandaal,  
<https://www.lilianvandaal.com/>, 2022.

Figura 31 - SHAPES OF SWEDEN.  
Lilian van Daal.

Figura 32 - SHAPES OF SWEDEN.  
Lilian van Daal.

Figura 33 - BIOMIMICRY. Lilian van  
Daal.

[39] Philipp Aduatz,  
<https://www.philippaduat.com/>, 2022.

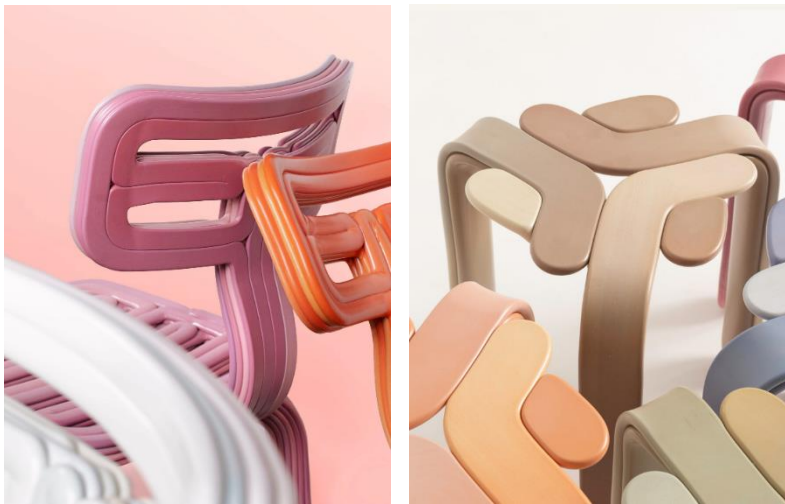
Figura 34 - Gradient Fauteuil. Philipp  
Aduatz.

Figura 35 - Gradient Fauteuil. Philipp  
Aduatz.

Na maioria dos exemplos, o autor utiliza materiais cerâmicos que se destacam pela utilização de dois pigmentos diferenciados durante o processo de impressão. Foi percebido também, que algumas das suas construções assentavam em bases de construção não horizontais, com o objetivo de proporcionar diferentes rugosidades em locais estratégicos. Percebeu-se assim que o contacto do material cerâmico com a base de impressão é sempre mais liso que as paredes da periferia, podendo trazer vantagens para algumas aplicações.



Com Dirk Vander Kooji [40], reparou-se que a utilização de diâmetros de impressão exagerados, poderia ser interessante para a construção de peças em pouco tempo de impressão, porém o pós processamento poderia ser mais complicado:



A empresa XtreeE- The Large-Scale 3D [41], produz peças utilizando materiais cimentícios e permitiu, mais uma vez, perceber a vantagem da utilização de texturas volumétricas proporcionadas pela programação de caminhos de extrusão diversificados.



Figura 36 - Digital Chaise Longue. Philipp Aduatz.

Figura 37 - Fase de construção - Digital Chaise Longue. Philipp Aduatz.

[40] Dirk Vander Kooji, <https://dirkvanderkooji.com/>, 2022.

Figura 38 - Chubby Chair, Dirk Vander Kooji.

Figura 39 - Stopstool, Dirk Vander Kooji.

[41] XtreeE- The Large-Scale 3D, <https://xtree.com/en/projects/>, 2022.

Figura 40 - Woven Concrete furniture in Tokyo, XtreeE- The Large-Scale 3D.

Destacou-se também as obras de Nagami x Manuel Jiménez García [42], pela utilização de um design com formas muito mais geométricas. Percebeu-se que as secções internas de material de enchimento não têm que ficar necessariamente escondidas como na maioria das impressões e que a programação do caminho dos filamentos internos poderia trazer ideias interessantes para o projeto.



[42] Nagami x Manuel Jiménez García, <https://nagami.design/en/designer/manuel-jimenez-garcia/>, 2022.

Figura 41 - NOBU. Nagami x Manuel Jiménez García.

Figura 42 - ESTRAT. Nagami x Manuel Jiménez García.

Para além destes, foram vários os exemplos analisados como possíveis inspirações, mas menos importantes que os referenciados. De qualquer das maneiras, ao longo do desenvolvimento, serão mencionados sempre que se utilizar referências externas.

## Resumo Fabrico Aditivo

A pesquisa realizada neste primeiro ponto do estado da arte, serviu fundamentalmente para nos enquadrarmos com o tema das tecnologias de fabrico aditivo e perceber que aspetos já utilizados no mercado poderiam ser interessantes para a fase de desenvolvimento. Sintetizando a informação, resume-se aqui os pontos de maior relevância:

Numa primeira parte, sendo as tecnologias de fabrico aditivo, processos de deposição de material, camada após camada e gerados a partir de um software de computador, percebeu-se que são várias as tecnologias, aplicações e materiais disponibilizados.

Foram identificadas as vantagens que os destacam a nível de mercado como a possibilidade de produção de geometrias altamente complexas, não dependerem de ferramentas muito dispendiosas e quase não proporciona rem desperdícios de material; possibilitam rapidez na produção ou de adaptação de produtos às preferências do utilizador.

Percebeu-se os cuidados a ter em atenção quando se projeta para tecnologias FFF de pequena escala, visando a utilização de uma tecnologia de maior dimensão semelhante no futuro. Foram analisadas algumas das características mais relevantes como a altura e espessura das camadas, contrações e deformações ou tolerâncias a ter em consideração para posterior análise na fase experimental do projeto.

No segundo subcapítulo, foi realizada uma análise de mercado de artefactos em tecnologias de impressão 3D de grande escala, onde se tentou perceber os aspetos mais interessantes de cada uma das peças analisadas para recolher diferentes ideias e possivelmente adapta-las na fase de desenvolvimento deste projeto.

Destacou-se a possibilidade de utilização de texturas volumétricas criadas através de formulas matemáticas em diferentes programas de modelação, que poderia evidenciar bem as potencialidades de tecnologias de fabrico aditivo devido à liberdade de criação de geometrias; destacou-se a criação de texturas inspiradas na natureza e utilização de mais do que um ou tingimento do material de impressão através da deposição de corantes no bico de extrusão; destacou-se a possibilidade de impressão em planos não horizontais e a perceção das vantagens na utilização de filamentos extrudidos de grande dimensão.



# Projeto

## Considerações Iniciais

“Segundo os princípios do bom design, o consumidor anónimo deveria sentir a presença de um trabalhador que também pensou nele, no sentido de produzir um objeto que funcione bem e que tenha além disso a sua estética, não devida ao estilo pessoal de alguém, mas nascida do próprio problema.”

Design as Art. Bruno Munari. 2008.

O design e a engenharia são áreas fundamentais e bastante utilizadas no processo de desenvolvimento de produto e a componente conceptual do design é em termos projetuais de bastante importância [43].

Ao longo do desenvolvimento, teve-se sempre em consideração desenvolver simultaneamente a vertente estética como funcional do objeto. Sempre que possível, procurou-se críticas ou ajuda por parte de outros profissionais que, dependendo do campo de atuação, puderam dar pequenos contributos para o desenvolvimento do projeto.

Antes de se começar a desenhar, tinha-se planeado testar o robô de impressão 3D para, consoante as suas limitações, construir uma forma que se adaptasse à tecnologia. Infelizmente, quando se iniciou os testes experimentais, houve uma avaria na máquina de impressão 3D que demorou cerca de cinco meses a ficar operacional e prevendo não prolongar a data de entrega desta dissertação, decidiu-se desenvolver um conceito e forma, até o problema ficar resolvido. Desta maneira, projetou-se uma peça com especulações construídas à base de informações teóricas, para que quando o robô estivesse operacional, já houvesse um plano de construção e se realizassem apenas pequenas alterações a nível de geometria.

Neste capítulo descreve-se o desenvolvimento do conceito e tentativa de enquadramento da peça com a Poças. É relatada a evolução das ideias desde os primeiros desenhos até ao surgimento da geometria final.

[43] Livro Design + Engenharia: da ideia ao produto. António Manuel Ramos + Carlos Moura Relvas + José António Simões + Luís Miguel Mota. 2017.

## Proposta

O principal objetivo deste projeto foi desenvolver um artefacto para o Centro de Visitas da Poças, para que os visitantes pudessem viver uma nova experiência.

Atendendo à sensibilidade da empresa para a arte, percebeu-se que se poderia produzir um objeto mais escultórico e com uma boa experiência visual, e com inspiração numa das peças mais ricas e fotografadas do espaço, nove garrafas com diferentes vinhos de diferentes tonalidades (Figura 43), pensou-se em desenvolver um projeto relacionado, que despertasse curiosidade nos visitantes através de soluções baseadas na interação e que tivesse uma escala de maior dimensão.

Identificou-se que o fator de maior importância deveria ser a perceção que os visitantes teriam das cores dos vinhos, não devendo haver assim uma obstrução do recipiente, nem interferência com a transparência ou simpatia da peça. Com o objetivo de enaltecer a cor dos vinhos, foi percebido também que estes poderiam ser iluminados e que o recipiente poderia ter uma forma qualquer, desde que o material fosse completamente transparente e sem grandes perturbações de geometria, de maneira a valorizar a simplicidade da cor.

Para além disso, decidiu-se realizar um projeto em colaboração com o INEGI, que possibilitou a utilização de um robô de impressão 3D de grande escala, onde foi possível dar um contributo para a exploração da tecnologia e demonstração das suas potencialidades por ter sido um robô recentemente instalado.



Figura 43 - Exposição dos nove vinhos usados como fonte de inspiração, Centro de Visitas Poças.

## Procura de um conceito

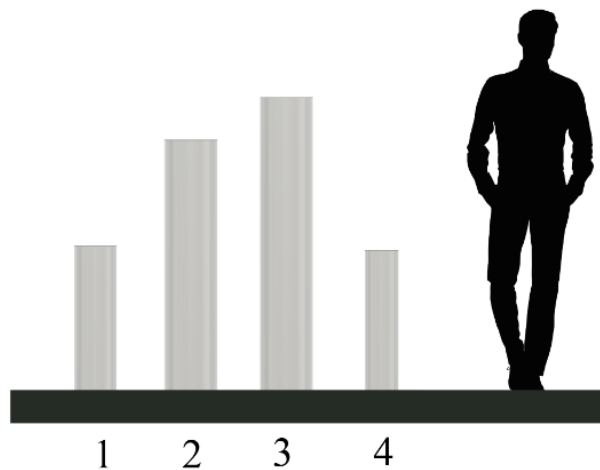
Após a demonstração das possibilidades da tecnologia à Poças e se concordar em produzir um artefacto em impressão 3D de grande escala, com inspiração nas diferentes cores dos Vinhos Poças, percebeu-se que seria importante não avançar para as fases seguintes sem se definir que tipo de recipiente é que se iria utilizar para entender a sua relação entre o desenho e o utilizador.

Um recipiente transparente para satisfazer as suas necessidades deve conter, isolar e suportar o vinho sem impor a sua materialidade em termos visuais, propondo-o de uma forma delicada ou valorizando-o com pequenos reflexos ou luminosidades.

Ezio Manzini. LA MATERIA DELL'INVENZIONE. 1986

Visando a utilização de um recipiente o mais simples possível, decidiu-se procurar aqueles que fossem de vidro e completamente cilíndricos. Desta maneira, fez-se uma pesquisa e visita alargada de lojas e armazéns de venda de vidros produzidos de maneira industrial ou artesanal dentro da cidade do Porto. Destacaram-se quatro:

Recipiente	Preço (Euros)	Altura (Metros)	Diâmetro (Metros)	Capacidade (Litros)
1	29.70	0.70	0.20	21
2	84.50	1.20	0.25	58
3	125.00	1.40	0.25	68
4	26.00	0.68	0.16	13



Inicialmente, pensou-se que o Recipiente 1 seria a melhor opção, por ser aquele com uma relação preço/armazenamento mais favorável. Este recipiente foi o utilizado nas próximas fases do desenvolvimento, no entanto com o evoluir do projeto foram surgindo pequenas alterações, mas quando se produziu o primeiro protótipo à escala real decidiu-se que o Recipiente 4 seria a melhor solução.

Tabela 4 - Comparação dos recipientes destacados.

Figura 44 - Desenho de comparação dos tamanhos dos recipientes em comparação com uma pessoa com aproximadamente 1.80m de altura.

Para este projeto, a procura de um conceito nasceu sempre da ideia de construção de uma experiência para o visitante, mas como ponto de partida, decidiu-se consultar e analisar o livro 100 ANOS 100 OBJETOS da Poças, com texto de Emílio Remelhe e fotografias de João Ferrand para perceber que contexto é que poderíamos utilizar para atribuir uma relação entre o objeto e a Poças.

“Nele se evocam memórias com objetos dentro - coisas de valor utilitário, afetivo, simbólico, coisas quotidianas que ganharam a espessura do tempo, coisas contadas pelos dedos, pelas quatro gerações da Família Poças.”

100 ANOS 100 OBJETOS. Emílio Remelhe, João Ferrand. 2018.



Através deste livro e como forma de inspiração, analisou-se cada um dos 100 objetos para escolher aqueles que poderiam trazer interesse para o artefacto e potenciar a ideia da cor dos vinhos. Destacaram-se seis:

- A PORTA DO TESOURO (Portão da Quinta Das Quartas);

Baseado na citação “O SEGREDO DO VINHO DO PORTO REVELA-SE NAQUILO QUE ESCONDE”, pensou-se que a utilização do conceito “Porta do tesouro” poderia trazer um toque enigmático à peça, “Um portão é, mesmo quando fechado (...) uma porta aberta para a imaginação.” Neste sentido, poderia haver algo que não fosse perceptível à primeira vista. Como um portão: “protege bens e expõe segredos”, o artefacto poderia revelar novas formas ao longo da sua observação.

- MEMÓRIA ABERTA A SETE CHAVES (Cofre);

Tal como o portão, o cofre é um objeto onde se guardam valores e se protegem os bens mais preciosos, mas contrariamente a um portão, não conseguimos observar o que está para dentro, sem abirmos a entrada principal. Como referido no livro, “Guardando internamente valores pessoais, mas também externamente valores patrimoniais.”, são interpretados dois pontos de vista, um para quando o cofre está aberto e outro para quando fechado. Da mesma maneira, pensou-se em trabalhar a diferenciação entre o interior/exterior da peça pela versatilidade da tecnologia utilizada.

- COFRE PARA GUARDAR EMOÇÕES (Licoreira);

Como referido no livro “o licor não é apenas um aquecedor metafórico do coração, (...) envolve o órgão cerebral”, a Licoreira, para além de guardar objetos físicos consegue guardar emoções. Nesta perspetiva, pensou-se que para além de haver uma experiência visual para os visitantes, poder-se-ia tentar despertar outros sentidos (emoções) que poderiam ser ativados através de componente eletrónicos.

- ESCREVER COM O BATER DO CORAÇÃO (Máquina de Escrever Portátil);

O estudo deste objeto, despertou a ideia de trazer um contacto mais próximo entre o visitante e a experiência “objecto de culto que representa uma cultura pejada de referências sociais, económicas, políticas, literárias”. Como na máquina de escrever existe um movimento que é transformado numa ferramenta versátil, neste projeto, com a utilização de teclas ou sensores, os movimentos dos utilizadores poderiam ser aproveitados e transformados durante a experiência.

- MÚSICA À MÃO E ALEGRIA AO PÉ (Acordeão);

No mesmo seguimento, o acordeão destacou-se pelo contacto próximo com o utilizador, que em vez de transformar um movimento em escrita, transforma-o em melodias que atraem multidões. Semelhante à licoreira pela provocação de diferentes sensações, a utilização do som durante a experiência poderia ser um aspeto de grande importância para atrair clientes durante a visita do centro.

- DECANTAR E CHORAR POR MAIS (Decanter);

Por “oferecer à vista a esplendorosa cor do Vinho, enaltece os seus sabores e aromas ao provocar a sua oxigenação”, o decanter selecionou-se pela sua simpatia e fácil associação a um elemento relacionado com o vinho e para uma fase inicial, considerou-se que o seu conceito seria um bom começo para a geração de ideias.



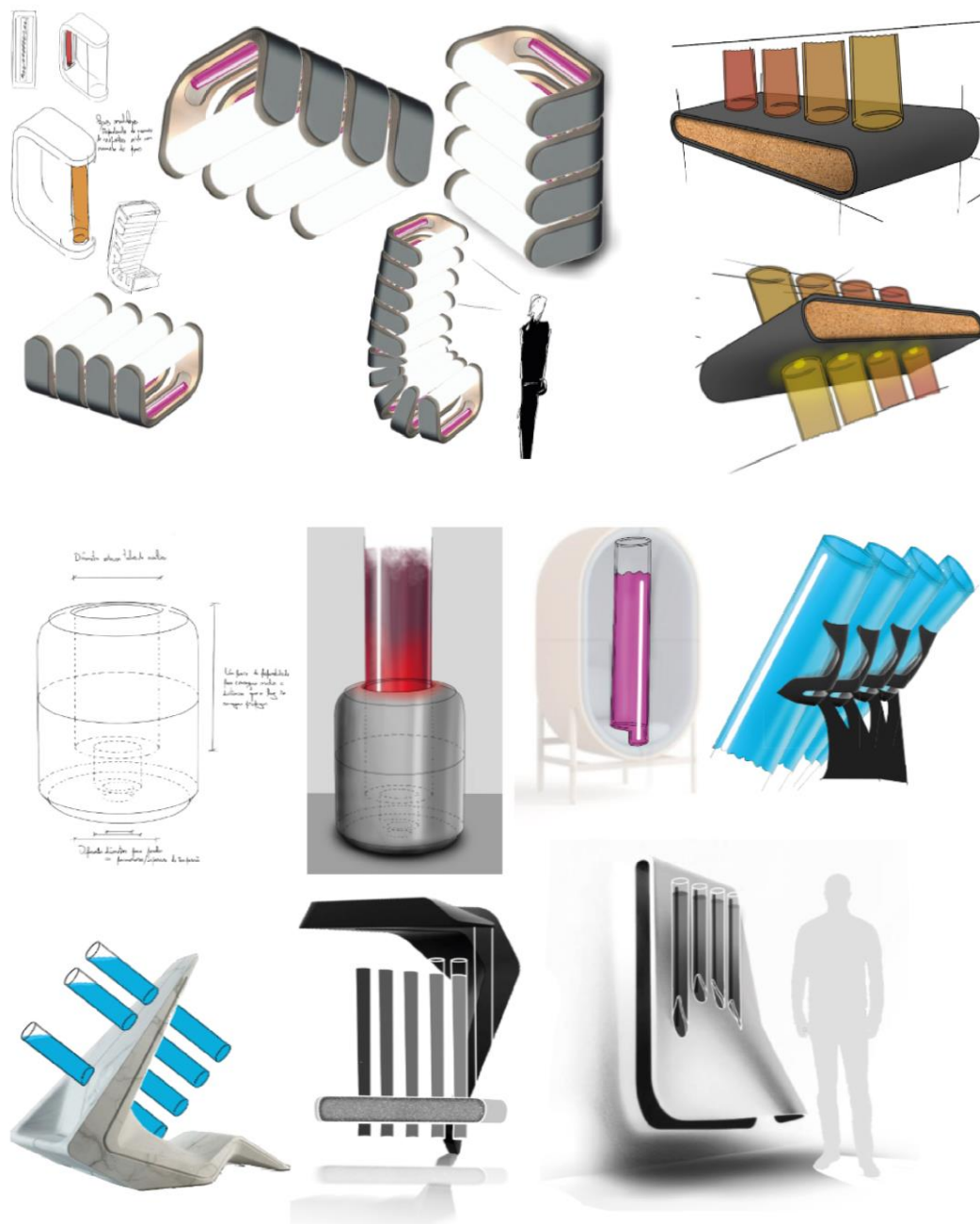
Para além destes objetos, mais alguns mantiveram pequenas influências, que sempre que necessário, foram citados ao longo do processo de desenvolvimento.

## Procura de formas

Segundo Luís Mendonça, professor da FBAUP, um esboço deve ser a primeira fase imediatamente à pesquisa, mas um esboço não é um desenho e um desenho não é um esboço. Num esboço existe procura e num desenho já existe algo planeado. Nesta primeira fase esteve-se disponível a qualquer opinião e realizaram-se reuniões com diferentes entidades e brainstormings para gerar uma grande variedade de imagens.

Figura 46 a 51 - Os seis objetos selecionados. Da esquerda para a direita: Portão da Quinta Das Quartas; Cofre; Licoreira; Máquina de Escrever Portátil; Decanter; Acordeão. Livro 100 ANOS 100 OBJETOS. Emílio Remelhe. João Ferrand. Poças.





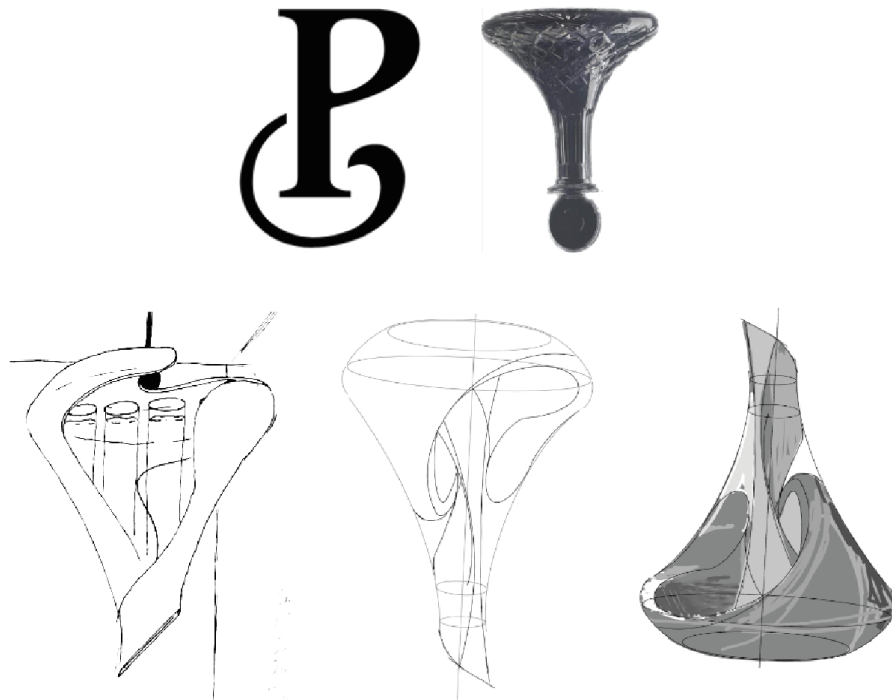
Analisando as ideias anteriores, estabeleceu-se:

- Que os recipientes deveriam ficar completamente na vertical e sem grandes perturbações de movimento para proporcionar uma boa estabilidade no vinho;
- Que a construção de uma peça única para englobar todos os recipientes, poderia dar ao utilizador uma sensação de escala muito maior do que a utilização de geometrias em repetição, porém poderia ser mais problemático a nível de construção;

Figura 53 – Montagens para geração de ideias através de fontes externas ao conceito.

- Que a utilização de repetição de formas poderia trazer soluções com peças móveis que poderiam ser colocadas em diferentes lugares dependendo do local de exposição;
- Que poderia ser interessante a utilização de diferentes materiais ou estruturas auxiliares de suporte.

De seguida, com o objetivo de contextualizar as ideias com o tema da empresa, decidiu-se transpor rapidamente os conceitos para formas inspiradas nos objetos analisados do livro. Numa das primeiras ideias, pensou-se em incorporar o P de Poças com um decanter invertido como fonte de inspiração:



Em muitas das tentativas, desenhou-se a mesma peça em duas perspetivas diferentes visando criar duas imagens distintas para tentar proporcionar a descoberta de um enigma durante a experiência. Por exemplo, pensou-se que esta estrutura poderia estar suspensa através de um único eixo central e girar lentamente através de um servo motor para que se observassem diferentes perspetivas da mesma posição. Com referência a uma citação do livro “Guardando internamente valores pessoais, mas também externamente valores patrimoniais”, no interior poderiam estar os nove recipientes de vinho iluminados (um ambiente quente e colorido) e pelo exterior poderia haver uma estrutura escura como uma casca de uva para que os recipientes pudessem ser ocultados durante uns segundos e revelados logo após.

Com o desenvolver das ideias, percebeu-se que com a inversão do decanter havia uma sensação muito menor de segurança e a movimentação da peça poderia trazer oscilações ou vibrações no vinho e o Vinho do Porto é um vinho que se quer estável, em repouso e sem grandes perturbações. Numa fase seguinte, com o objetivo de visualizar as ideias de uma maneira mais realista em termos de proporções, decidiu-se modelar recipientes e estudar diferentes disposições para prever a mais favorável:

Figura 54 – Desenhos de construção inspirados num decanter e P de Poças.

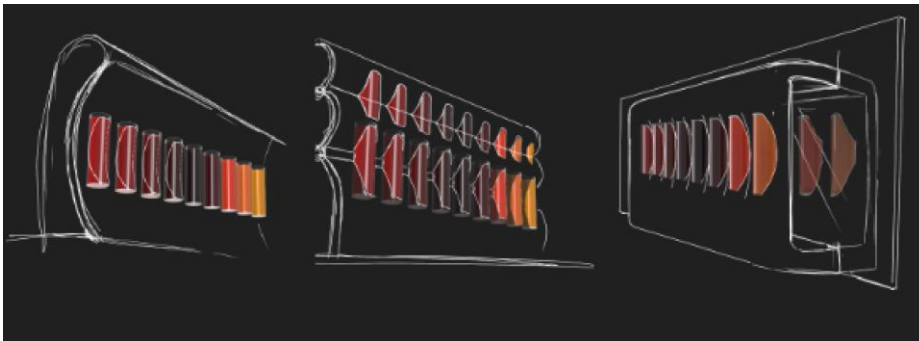


Decidiu-se que as disposições em linha reta seriam as melhores por serem aquelas que mostravam quase sempre a mesma quantidade de vinho para cada recipiente, independentemente do ponto de vista do utilizador,

Mais tarde, em sintonia com o INEGI, percebeu-se também que se deveriam projetar nove peças individuais em vez de uma única, porque se ocorresse algum problema durante a impressão e o robô tivesse que parar subitamente, haveria uma menor quantidade de material desperdiçado. Também, que não se deveria utilizar estruturas de material de suporte pelo pós-processamento das peças ser de extrema dificuldade.

Para além disso, foi percebido que se deveria ter em consideração que o robô só poderia estar a trabalhar durante 15 horas, por se necessitar de vigia constante durante a construção das peças (horário de funcionamento do INEGI num dia normal).

Assim, entendeu-se que a solução anterior traria vários problemas a nível dimensional e evitando cometer erros de proporção semelhantes durante as próximas fases, decidiu-se começar a desenhar por cima destas modelações dos recipientes para proporcionar um desenho mais rigoroso que as etapas anteriores.

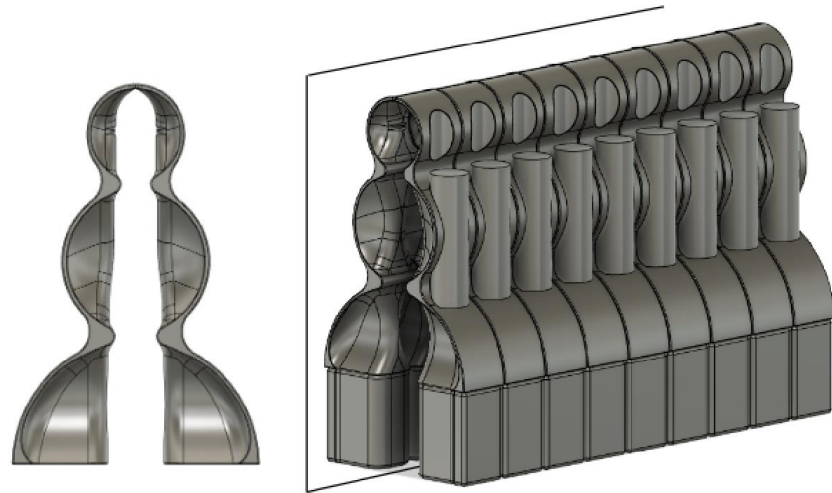


Nestes desenhos, pensou-se em construir geometrias em que a vista lateral correspondesse a uma forma associada ao vinho. Baseando-nos em alguns objetos do livro 100 ANOS 100 OBJETOS, simétricos relativamente à vertical, desenhou-se alguns que se completassem com a utilização de um espelho por trás, para atribuir uma noção de profundidade e continuidade à peça.

Inspirado na silhueta de uma tenaz, modelou-se um dos modelos da figura anterior:

Figura 55 – Estudo de 9 recipientes em posições diferentes.

Figura 56 - Desenhos de alguns exemplos visando a utilização de espelhos e geometrias simétricas relativamente à vertical.



Pensou-se que a utilização de um espelho, não só completaria a tenaz, como também poderia revelar o interior da estrutura, que poderia ser diferenciado para despertar a curiosidade dos visitantes, porém pensando na experiência dos visitantes percebeu-se que a utilização de reflexos poderia suscitar distrações e assim desviar a atenção dos recipientes. Reparou-se também que a vista frontal da estrutura poderia ser demasiado pesada pelas peças estarem completamente juntas e baseado no abraçar da garrafa desta ideia, pensou-se que poderia ser interessante criar novas geometrias onde o material de impressão criasse formas alusivas ao vinho ao envolver o recipiente:



Na solução anterior, o recorte criado daria a sensação que o recipiente seria uma garrafa de vinho invertida a escorrer uma gota de vinho em direção à “terra”, que seria finalizado com uma peça de madeira para completar a forma alusiva à “gota”.

Nesta altura, pensou-se também que se poderia tirar mais proveito da tecnologia ao produzir uma peça mais complexa a nível de geometria e achou-se que a utilização de texturas volumétricas poderia ser interessante. Assim, tentou-se construir diferentes texturas em forma de tronco, de vinha ou de raízes para estabelecer uma ligação mais próxima da peça com a origem dos vinhos.

Figura 57 - Representação de ideias em forma de tenaz.

Figura 58 - Representação de ideias com um recorte em forma de garrafa a escorrer uma gota de vinho.



Sendo os dados necessários para construção de uma peça em impressão 3D, apenas um ficheiro CAD, a utilização de diferentes texturas em diferentes peças não traz desvantagens a nível de produção. Desta maneira, semelhante ao artigo, referido no estado da arte, Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design [44], pensou-se que estas texturas poderiam ser criadas através de parametrizações e vários exemplos foram testados:



### A Influência da Música no Vinho

Analisando a geometria anterior e o ponto de vista do utilizador, decidiu-se que se deveria construir uma peça que tivesse uma imagem associada bastante mais evidente do que a antecedente. Para além disso, era importante que os visitantes tivessem uma noção mais clara do significado da peça, e que texturas abstratas como as testadas não suscitassem dúvidas durante a visita do espaço.

Semelhante à máquina de escrever pela utilização de teclas, descobriu-se o acordeão que despertou uma solução fulcral no processo de desenvolvimento. De acordo com o livro 100 ANOS 100 OBJETOS e após uma pesquisa científica, percebeu-se que a música sempre esteve presente nos processos mais antigos de produção do vinho e a incorporação deste elemento na exposição, poderia despertar curiosidade, trazer um contacto mais próximo com os visitantes e proporcionar uma experiência muito mais imersiva.

Figura 59 - Exemplos de diferentes texturas volumétricas.

[44] Schumacher, P.: Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design, AD Architectural Design - Digital Cities, Vol 79, 2009.

Figura 60 - Exemplo de textura volumétrica em forma de raízes em diferentes posições.

“vinham os homens buscá-los e, em fila indiana, levavam-nos pelos socalcos, com canções, acordeão, marcação de passos ou simplesmente silêncio e respiração ofegante.”,  
“O acordeão dominava a arte de juntar o útil ao agradável. Entre a música e canto, acentuava-se a coreografia no palco do lagar, aprofundava-se na adegas o eco de uma alegria secular”

100 ANOS 100 OBJETOS. Emílio Remelhe, João Ferrand. 2018.

Para além das citações do livro, são vários os exemplos em que a música está presente quando o tema se trata de vinicultura. Curiosamente, estudos mostram que a percepção do sabor do vinho pode ser diferenciado consoante o ambiente musical em que cada um se encontra:

"O emparelhamento do vinho com a música (...) transformou-se numa gama crescente de provas multisensoriais (...) a fim de avaliar, ou ilustrar cada vez mais, o impacto (...) na experiência das pessoas".

Charles Spence, Multisensory experiential wine marketing, Food Quality and Preference, 2019

“Existe um aumento cada vez maior de provas científicas que mostram que o que as pessoas saboreiam quando provam um vinho, (...) pode ser influenciado pela música que é tocada ao mesmo tempo. Há muito que se sabe que o que ouvimos pode influenciar os aspectos hedónicos da degustação”.

Spence, C., Wang, Q.(. Wine and music (II): can you taste the music? Modulating the experience of wine through music and sound, 2015

Assim, ponderou-se idealizar que, da mesma maneira que o Vinho do Porto Poças conta uma história, “bem conhecido pela sua elegância e irreverência, é a mais antiga relíquia da casa” [45], a utilização de sons e melodias poder-se-iam enquadrar no artefacto como uma tentativa de contar uma história e permitir estimular outros sentidos durante a experiência.

Já algumas empresas tentam introduzir melodias em processos de produção, de maneira a inserir novos conceitos no mercado. Por exemplo, a empresa SONOR WINES [46], demonstrou que o vinho se torna mais refinado quando é fermentado com o auxílio de músicas e diferentes tipos de vibrações. Esta invenção utiliza métodos para refinar o vinho, durante o processo de fermentação ou durante etapas de maturação através de ondas sonoras provenientes de música colocada diretamente no interior dos recipientes de armazenamento de vinho.

“O uso de vibrações específicas (sonificação) criadas por notas de música, cria não só uma qualidade superior de vinho, mas dá também ao cliente a capacidade de se conectar com um músico/artista num nível totalmente novo (...) os vinhos vibrarão com caixas de som subaquáticas especiais criadas e aperfeiçoadas”

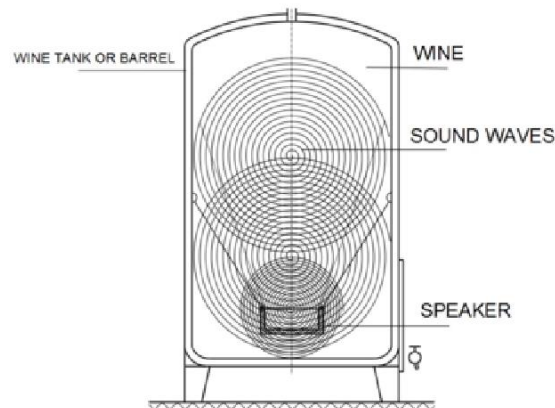
www.sonorwines.com. 2021.

“Durante a fermentação e com um amplo espectro de frequências (música) alteramos a biologia do vinho na faixa audível (...) a diferença entre os vinhos e o resultado que é produzido é diretamente afetada pelos diferentes tons.” Bachmann, Markus. SONOR WINES”

www.sonorwines.com. 2021.

[45] Livro 100 ANOS 100 OBJETOS. Emílio Remelhe. João Ferrand. Poças.

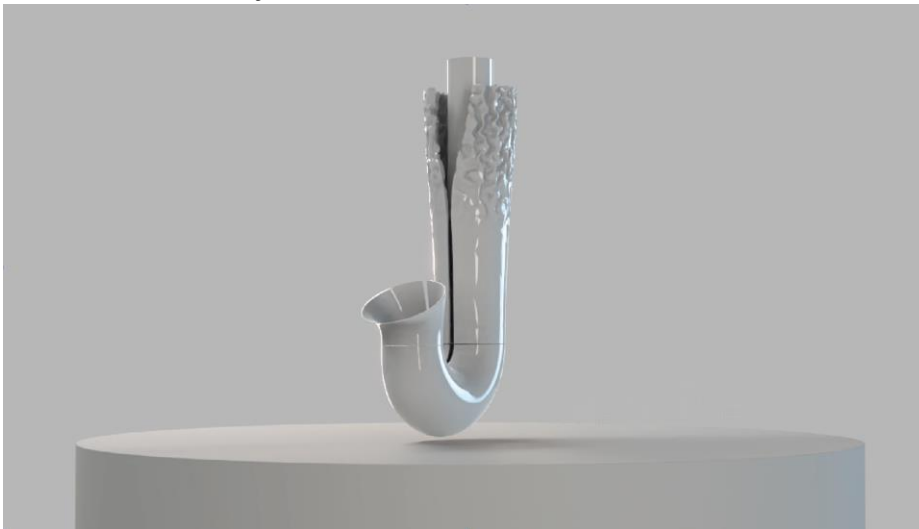
[46] Sonor Wines, <https://www.sonorwines.com/>, 2022.



Da mesma maneira que esta empresa utilizou diferentes músicas para estabelecer uma relação mais próxima com o cliente, poder-se-iam utilizar sons estratégicos no artefacto, para estabelecer um contacto mais próximo com o utilizador.

Para que a associação à música fosse bastante mais evidente durante o passeio pelo centro de visitas, decidiu-se procurar formas de inspiração que fizessem com que este tema fosse mais perceptível.

Percebeu-se que são vários os estilos musicais associados ao vinho, mas com o objetivo de valorizar o perfil lateral da estrutura e dar continuidade aos desenhos anteriores, muito popular em orquestras, jazz ou músicas clássicas, decidiu-se utilizar o saxofone como elemento de inspiração. Este apresenta uma ligação ao vinho, já contemplada em várias organizações ou festivais, onde alguns exemplos são o Palmela Wine Jazz 2022 ou Ericeira Wine & Jazz Festival, que reúnem estes dois temas a fim de estabelecer uma relação mais forte com os clientes.



Após se confirmar a possibilidade de utilização de música no artefacto, ponderou-se que esta poderia ser ativada através de sensores, que seriam colocados em cada uma das bocas destes “saxofones”, com um som/ melodia diferente para cada um.

Inicialmente, tinha-se pensado em utilizar teclas semelhantes às de uma máquina de escrever, porém englobava um contacto direto do visitante com a peça e poderia trazer vibrações no vinho que se quer estável durante a experiência. Para além disso, com sensores é mais difícil a perceção do funcionamento da estrutura, o que proporciona um mistério maior quando estes são ativados.

Figura 61 - Imagem ilustrativa da construção do sistema de vibração utilizado para refinar o vinho. [www.sonorwines.com](http://www.sonorwines.com), 2022.

Figura 62 - Representação tridimensional da incorporação do saxofone nas modelações anteriores.

## Incorporação de um Som

Visando a construção de um sistema musical, foi importante perceber que tipo de equipamentos é que seriam necessários, mas antes de se contactar um profissional planeou-se construir um protótipo para apresentar a ideia à Poças e obter uma confirmação mais segura desta idealização.

Desta maneira, com ajuda do músico e professor Miguel Carvalhais da FBAUP e diferentes tutoriais online, construiu-se um protótipo que conseguisse armazenar um som e através de um sensor, pudesse reproduzi-lo quando captasse um movimento.

Utilizou-se:

Um Microcontrolador Arduino UNO [https://mauser.pt/catalog/product\\_info.php?products\\_id=096-2435](https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-2435), 2022.

Uma Placa de ensaio “Breadboard”

[https://mauser.pt/catalog/product\\_info.php?cPath=324\\_708\\_1569&products\\_id=096-7935](https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=324_708_1569&products_id=096-7935), 2022.

Um Sensor PIR (HC-SR501)

[https://mauser.pt/catalog/product\\_info.php?cPath=1667\\_2669\\_2675&products\\_id=096-8205](https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=1667_2669_2675&products_id=096-8205), 2022.

Uma Colunas Ativas <https://www.aquario.pt/pt/product/esperanza-colunas-espeanza-usb-20-ballad-ugespkp0000152>, 2022.

Um Módulo Shield Carregamento de Cartões Micro SD – Arduino

[https://mauser.pt/catalog/product\\_info.php?cPath=1667\\_2889\\_2891\\_2892&products\\_id=096-4646](https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=1667_2889_2891_2892&products_id=096-4646), 2022.

Jumpers M-M; M-F; Crocodile

[https://mauser.pt/catalog/product\\_info.php?cPath=1874\\_56\\_2732\\_2787&products\\_id=096-7940](https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=1874_56_2732_2787&products_id=096-7940), 2022.

[https://mauser.pt/catalog/product\\_info.php?cPath=1874\\_56\\_2732\\_2787&products\\_id=096-7938](https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=1874_56_2732_2787&products_id=096-7938), 2022.

[https://mauser.pt/catalog/product\\_info.php?cPath=1874\\_640\\_325&products\\_id=019-4849](https://mauser.pt/catalog/product_info.php?cPath=1874_640_325&products_id=019-4849), 2022.

Para avançar com a sua programação, foi necessário entender dois tópicos essenciais através de alguns tutoriais online: o funcionamento de um sensor PIR e a maneira como o Arduino pode armazenar um ficheiro de áudio num leitor de cartões SD. De acordo com a pesquisa realizada e habilidades de programação, só se conseguiu fazer com que o sensor detetasse um movimento a cada 5 segundo e reproduzisse um único ficheiro de áudio com qualidade muito reduzida (ficheiro WAV em formato PCM, a 8 bits e para frequências de 16 000 Hz). Sempre que se iniciava o sistema, surgia também um ruído constante que durava durante toda a experiência.

De qualquer das maneiras, foi suficiente para demonstrar o potencial da experiência à Poças e aprovação da incorporação de sons através desta solução interativa.

Eis um esquema e código do sistema construído:

```

//the time we give the sensor to calibrate (10 60 secs according to the datasheet)
int calibrationTime = 30;

//the time when the sensor outputs a low impulse
long unsigned int lowIn;

//the amount of milliseconds the sensor has to be low
//before we assume all motion has stopped
long unsigned int pause = 5000;

boolean lockLow = true;
boolean takeLowTime;

int pi+Pin = 3; //the digital pin connected to the PIR sensor's output
//int ledPin = 13;

const int PINRESET = 2;

#include "SD.h"
#define SD_ChipSelectPin 4
#include "TMRpcm.h"
#include "SPI.h"
TMRpcm tmrpcm;

////////////////////////////////////
//SETUP
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pi+Pin, INPUT);
  //pinMode(13,OUTPUT);
  pinMode(4,OUTPUT);
  digitalWrite(pi+Pin, LOW);

  //give the sensor some time to calibrate
  Serial.print("calibrating sensor ");
  for(int i = 0; i < calibrationTime; i++){
    Serial.print(".");
    delay(1000);
  }
  Serial.println(" done");
  Serial.println("SENSOR ACTIVE");
  delay(50);

  digitalWrite(PINRESET, HIGH);
  pinMode(PINRESET, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

////////////////////////////////////
//LOOP
void loop(){
  if(digitalRead(pi+Pin) == HIGH){
    digitalWrite(13, HIGH); //the led visualizes the sensors output pin state
    tmrpcm.speakerPin = 9;
    Serial.begin(9600); //penso que basta só uma vez
    if (!SD.begin(SD_ChipSelectPin)) {
      Serial.println("SD fail");
      return;
    }
    tmrpcm.setVolume(5);
    tmrpcm.play("song1.wav");
    delay(7000);
    tmrpcm.pause();
    tmrpcm.setVolume(0);
  }

  if(!lockLow){
    //makes sure we wait for a transition to LOW before any further output is made:
    lockLow = false;
    Serial.println("----");
    Serial.println("motion detected at ");
    Serial.println(millis()/7000);
    Serial.println(" sec");
    delay(50);
  }
  takeLowTime = true;
}

if(digitalRead(pi+Pin) == LOW){
  digitalWrite(13, LOW); //the led visualizes the sensors output pin state

  if(takeLowTime){
    lowIn = millis(); //save the time of the transition from high to LOW
    takeLowTime = false; //make sure this is only done at the start of a LOW phase
  }

  //if the sensor is low for more than the given pause,
  //we assume that no more motion is going to happen
  if(!lockLow && millis() - lowIn > pause){
    //makes sure this block of code is only executed again after
    //a new motion sequence has been detected
    lockLow = true;
    Serial.println("motion ended at "); //output
    Serial.println((millis() - pause)/1000);
    Serial.println(" sec");
    delay(50);
  }

  //delay(200);
  //digitalWrite(PINRESET, HIGH);
}

```

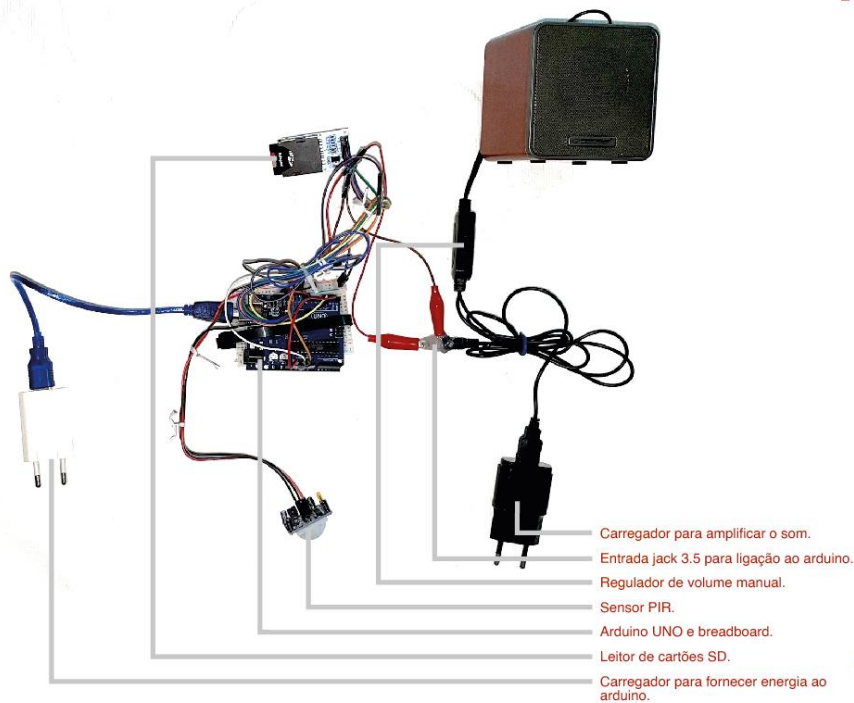


Figura 63 - Código utilizado para programação do protótipo do sistema de som.

Figura 64 - Esquema de ligações utilizado para o funcionamento do sistema de som.

Com o objetivo de tentar perceber que sons é que melhor se adequariam com o projeto, decidiu-se fazer uma pesquisa de diferentes tipos relacionados com vinicultura onde todos os sons deveriam diferir um pouco ou completamente para não se tornar numa experiência repetitiva. Em sintonia com a Poças, de maneira a se fazer uma aplicação válida, foram procurados artistas que pudessem auxiliar o trabalho e contribuir para a construção desta proposta.

Foi possível contactar o vocalista, guitarrista e letrista português Manel Cruz, que se mostrou disponível para participação no projeto. O Manel é um músico e um ilustrador português com cerca de trinta anos de carreira que está envolvido em projetos como: "Ornatos Violeta", "Pluto", "Super Nada" e "Foge Foge Bandido" [47].



Manel Cruz foi convidado para, de acordo com um conjunto de palavras chave definidas em reuniões com o artista, interpretar o universo dos vinhos e desenvolver sons para posteriormente serem ativados pelos visitantes no centro de visitas. Durante as primeiras conversas, surgiram ideias como a utilização de faixas de músicas diferentes em cada um dos saxofones em que quando os sensores fossem ativados apenas uma porção da faixa seria tocada aleatoriamente, para diminuir a possibilidade de existência de momentos repetitivos; pensou-se que poderiam haver sons rápidos e outros secundários mais lentos a tocar em simultâneo para a criação de um determinado ambiente; pensou-se em brincar com ruídos de diferentes tonalidades ou sons mais ambientais como folhas ao vento, o calcar da terra nos campos das vinhas ou outros sons mais difíceis de identificar. De qualquer das maneiras, tendo estas ideias em consideração e sem querer limitar a imaginação de Manel Cruz, deixou-se ao critério do artista, a construção de sons originais para incorporação na experiência.

Através do Manel Cruz, conseguiu-se o contacto do músico e compositor Nuno Mendes com experiência na construção de sistemas de som. Pela conexão próxima com o Manel Cruz, o Nuno Mendes mostrou-se também disponível para colaborar com o projeto para que os sons produzidos, pudessem ser ativados de acordo com o planeado.

[47] Sá, J.: DESIGN E MÚSICA. Criação de um artefacto musical para Manel Cruz, 2020.

Figura 65 – Dia de reunião com Manel Cruz. Da esquerda para a direita: Rui Mendonça; Luís Torres; Manel Cruz; Pedro Pintão (Diretor de Marketing e Comunicação Poças).

Voltando à análise da geometria das peças para impressão, após a confirmação da utilização de sons na experiência, decidiu-se fazer com que a estrutura tivesse uma imagem associada a um saxofone bastante mais evidente.

Numa fase posterior, ao se perceber que a geometria escondia cada vez mais o vinho e que nos estávamos a afastar de um dos principais objetivos: a não obstrução do recipiente, concordou-se em descartar as texturas previamente criadas e modelar peças com uma superfície exterior mais discreta, para não competirem com o destaque que se pretendia dar aos recipientes com vinho (Figura 70 para 71).



Como mostrado na evolução das imagens anteriores, decidiu-se que:

- Dever-se-ia utilizar o Recipiente 4 (altura/diâmetro de 0.68 m / 0.16 m) em vez do Recipiente 1 (altura/diâmetro de 0.70 m / 0.20 m) e adaptou-se também a geometria dos saxofones para que estes tivessem quase o mesmo diâmetro dos recipientes;
- Todos os saxofones deveriam ter bases amplas para garantir a maior estabilidade possível em cada um dos vinhos;
- Dever-se-ia projetar também uma tampa mais pequena no mesmo material para ser colocada na parte de cima dos recipientes;
- Que a inclinação da boca mais baixa deveria parecer alinhada com a inclinação da boca onde o recipiente é pousado e que a tampa colocada por cima do recipiente, deveria ter a mesma inclinação também;
- Que a boca mais baixa deveria ser uma peça à parte, de maneira a se poder imprimir uma nova geometria com ângulos de inclinação mais elevados e assim se assemelhar melhor à boca de um saxofone;

Tentou-se perceber também qual seria a altura ideal para colocar o recipiente na peça para proporcionar aos visitantes um maior proveito durante a experiência. Assim, estabeleceu-se que a maioria da altura do nível dos olhos dos visitantes deveria estar compreendida entre as extremidades do recipiente quando colocado na estrutura.

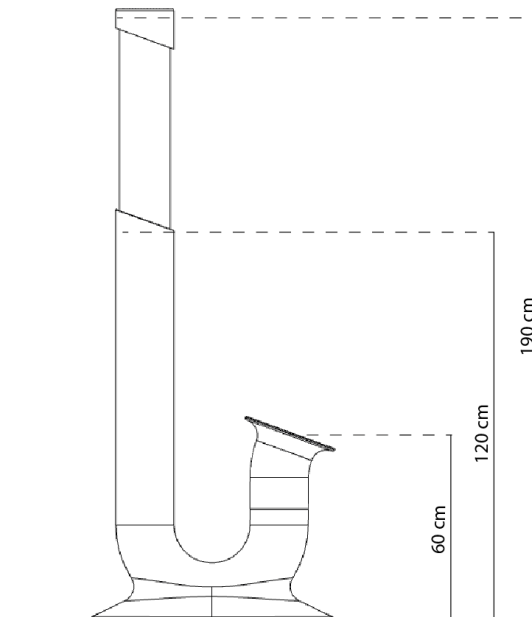
Para tal, tentou-se encontrar a altura média dos olhos da população portuguesa para posteriormente alinhar o centro do recipiente com este valor fictício: segundo dados recolhidos pelo Jornal de Notícias percebeu-se que, para 2014 em Portugal, em média,

a altura dos homens e mulheres, com aproximadamente 30 anos, era de 172.9 e 163 cm, respetivamente [48], e que para dados recolhidos segundo a plataforma TheWorldData, para 2020, para cidadãos entre os 18 e os 25 anos, era de 174 e 161 cm [49]. Não havendo grande diferenciação destes valores, pressupôs-se que a altura média deveria estar compreendida entre os valores 160 e 170 cm e decidiu-se utilizar o valor de 165 cm como média da altura da população.

Assim, estipulando que os olhos dos visitantes ficariam a cerca de 10 cm a baixo da sua altura máxima, utilizou-se o valor de 155 cm como um valor fictício da altura média do nível dos olhos dos visitantes.

Tendo o recipiente aproximadamente 70 cm, considerou-se que este deveria estar compreendido entre as alturas  $155 + 35$  cm (metade da altura do recipiente) e  $155 - 35$  cm, ou seja 190 e 120 cm respetivamente (Figura 68).

Para além disso, decidiu-se que a boca mais baixa dos saxofones (boca de saída do som), deveria estar a uma altura ideal para que a maioria da população conseguisse ativar os sensores de movimento sem grandes esforços. Após uma conversa com Nuno Mendes, responsável pela instalação dos componentes eletrónicos, percebeu-se que os sensores que seriam utilizados teriam um alcance de mais de 2 metros. Assim, de acordo com o desenho construído, decidiu-se utilizar uma altura de apenas 60 cm para a boca do som, pelos sensores se poderem acionar de várias posições.



### A Importância da luz

Uma sugestão referida pela Poças num dos primeiros contactos que se teve com a empresa, foi a utilização de luzes para valorizar as diferentes cores dos vinhos. Percebeu-se que os vinhos que seriam expostos necessitariam de ser preservados à temperatura ambiente e que assim, deveriam ser utilizadas lâmpadas LED para não emitirem calor durante a sua utilização se estivessem em contacto ou próximas do recipiente.

[48] [https://www.jn.pt/infos/alturainfos/altura\\_pessoas.html](https://www.jn.pt/infos/alturainfos/altura_pessoas.html)

[49] <https://ourworldindata.org/human-height>

Figura 68 – Evolução da geometria dos saxofones.

Mesmo com a possibilidade de visualização das ideias em programas de modelação, percebeu-se que se deveria dar uma maior importância ao estudo da influência da luz nos recipientes com vinho e realizaram-se testes experimentais:



Nestes primeiros testes utilizou-se água com corantes para alcançar uma cor semelhante à do vinho em diferentes tonalidades, um recipiente à escala real, fundos diversificados e luzes em diversas posições para prever o seu comportamento. Percebeu-se que:

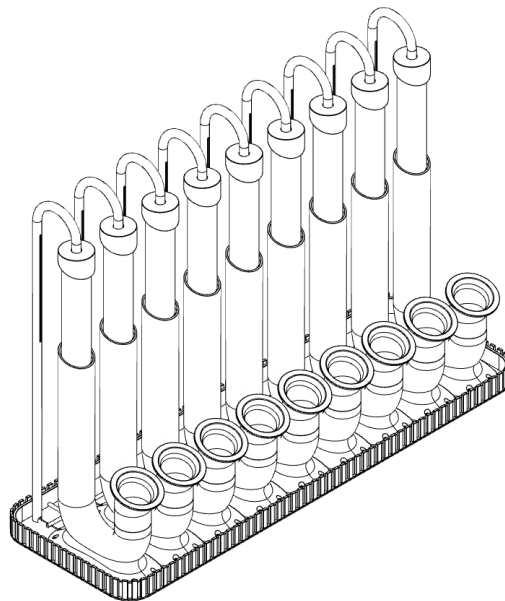
- Com a utilização de um fundo não homogêneo, existe uma inversão horizontal da realidade, quando se observa através do recipiente;
- A utilização de um plano de fundo muito próximo do recipiente sem ser iluminado, proporciona ao vinho uma cor muito mais escura e não natural;
- Existe uma iluminação colorida do ambiente à frente quando o recipiente com vinho é iluminado por trás;
- Com a utilização de uma luz por baixo do recipiente, a tonalidade do vinho fica em degrade e não homogênea;
- Dependendo da distância a que se encontra a fonte luminosa, existe uma ampliação/ redução da sua escala, provocada pela geometria do recipiente.

Após uma discussão dos testes anteriores, concordou-se em utilizar duas fontes luminosas: uma principal, que estaria sempre ligada e seria colocada por trás de cada um dos recipientes para permitir que os visitantes visualizassem uma risca com a respetiva cor do vinho quando estivessem à frente de cada um dos recipientes; e uma secundária, que seria colocada por baixo de cada um dos recipientes ou dentro da boca mais baixa dos saxofones, que poderia ser ligada quando os sensores fossem ativados pelos visitantes.

A colocação de uma luz vertical necessitou da idealização de um sistema de fixação. Surgiram duas soluções:

Figura 69 a 73 – Testes de iluminação.

A primeira solução baseou-se na colocação das luzes verticais em tubos de aço que se prolongariam desde a tampa por cima dos recipientes até ao chão e teriam uma geometria em forma de pega de guarda-chuva invertida, remetendo para um ambiente industrial, como se o vinho tivesse sido transportado por eles para dentro do recipiente. As fontes luminosas seriam colocadas em alturas estratégicas para que quando os visitantes se colocassem à frente dos vinhos, observassem uma risca de luz vertical ao mesmo nível que os recipientes. Nesta solução, projetou-se colocar os saxofones dentro de uma espécie de vaso com terra, com inspiração nos campos de vinhas da Poças que teria como objetivo cobrir os componentes eletrónicos caso fosse necessário.



A segunda solução baseou-se na criação de um plano vertical atrás dos recipientes, com função semelhante à de um teto falso. Neste, seriam recortados retângulos e colocadas luzes mais afastadas no seu interior para que os visitantes só vissem as riscas de luz quando estivessem exatamente à frente de cada um dos recipientes, ou todas ao mesmo tempo se mais afastados da estrutura.

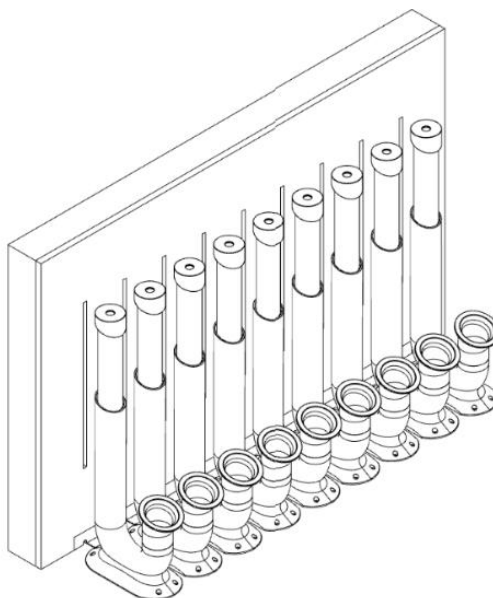


Figura 74 – Pré-visualização da primeira solução para o sistema de fixação das luzes verticais.

Figura 75 - Pré-visualização da segunda solução para o sistema de fixação das luzes verticais.

## Desenho Final

Após uma análise, optou-se pela segunda solução da construção de uma parede vertical por duas razões: em primeiro porque a primeira solução poderia permitir que os visitantes olhassem para as luzes verticais diretamente, por não estarem completamente escondidas e em segundo pela estrutura em tubos metálicos poder competir com o design dos saxofones e tirar destaque à cor dos vinhos que se pretendiam exhibir.

Com a segunda solução, poder-se-ia também construir uma parede vertical, que fizesse quase parte do ambiente das caves da Poças e assim, decidiu-se que esta deveria ser pintada com a cor das paredes mais próximas para dar a entender aos visitantes de que esta não fizesse parte do artefacto. Decidiu-se também que as peças em impressão 3D deveriam ter uma cor neutra e escura para que as cores do vinho se destacassem ainda mais.

Nesta fase, decidiu-se também que se deveria criar 6 em vez de 9 peças, uma vez que 9 poderiam ficar demasiado apertadas no espaço definido para a colocação do artefacto e assim, escolheu-se os vinhos com tonalidades mais distintas para uma perceção mais clara do contraste das cores de cada um.

Na solução final, alguns componentes eletrónicos poderiam ser escondidos por trás da parede projetada e o vaso desenhado na primeira solução não foi mais utilizado.

Para aumentar a estabilidade de cada um dos recipientes, planeou-se também que as bases dos saxofones deveriam ser aparafusadas ao chão prevenindo anular vibrações indesejadas.

Na imagem seguinte construiu-se uma pré-visualização da decisão final:

Figura 76 – Pré-visualização da ideia final, antes de se passar para os testes experimentais.



É importante também referir que, como mencionado nas considerações iniciais, tinha-se planeado avaliar as potencialidades de impressão do robô antes de se começar a construir uma geometria, no entanto como houve uma avaria demorada, decidiu-se projetar uma geometria baseada em especulações para tecnologias FFF, prevendo fazer apenas pequenas alterações nos testes experimentais, quando o robô estivesse operacional.

Na próxima imagem, foi construída uma vista explodida simplificada onde se destacam os 3 componentes mais importantes (necessários para construção em impressão 3D): o Corpo Principal (CP); a Boca do Som (BS); e a Tapa de Cima (TC).

Prevendo o resultado final, tentou-se representar também os restantes componentes, nomeadamente aqueles relativos ao sistema de som, ao sistema de iluminação, de suporte ou outros complementares:

- Colocou-se um vidro entre o recipiente e o CP, para que este não fosse colocado diretamente por cima da luz interior e permitisse uma maior estabilidade durante a experiência;
- Projetou-se o sistema de som num espaço interior entre o CP e a Boca do Som e construíram-se canais internos para conter os seus fios de ligação;
- Projetou-se 4 parafusos e respetivos orifícios na base de cada saxofone para esta ser aparafusada à superfície inferior.

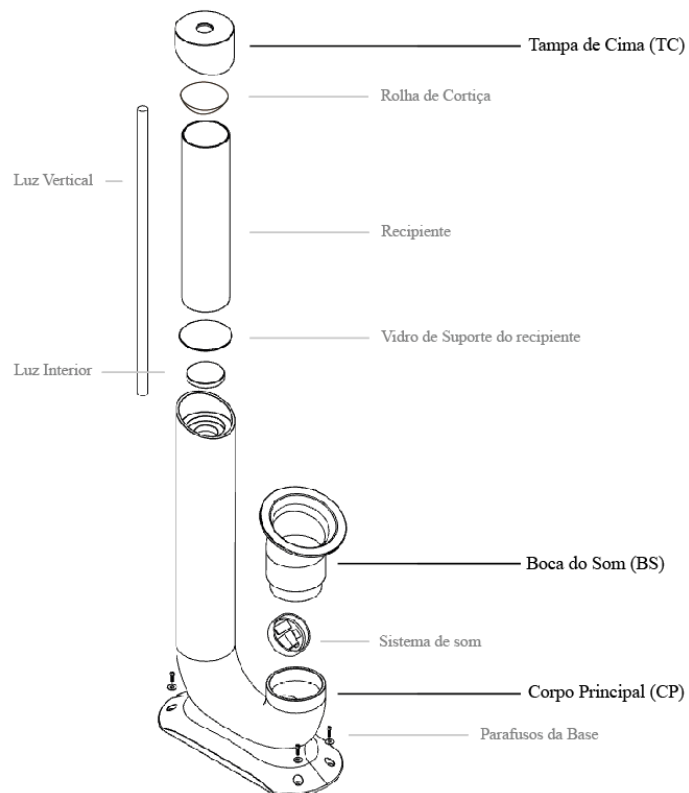


Figura 77 – Explosão com os principais componentes de um saxofone completo.



5

## Produção

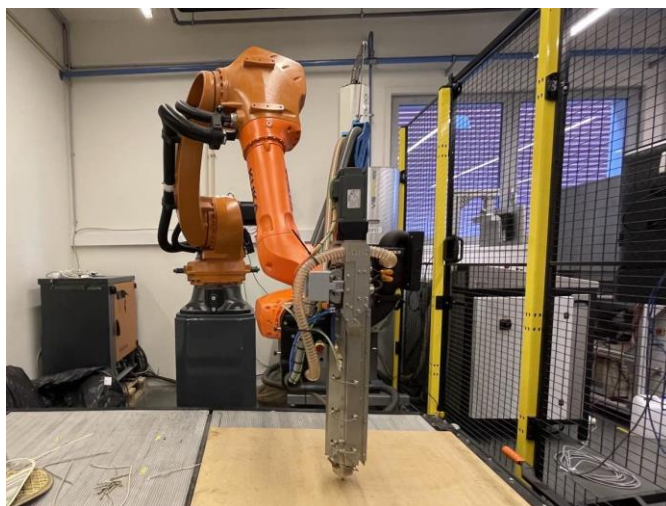
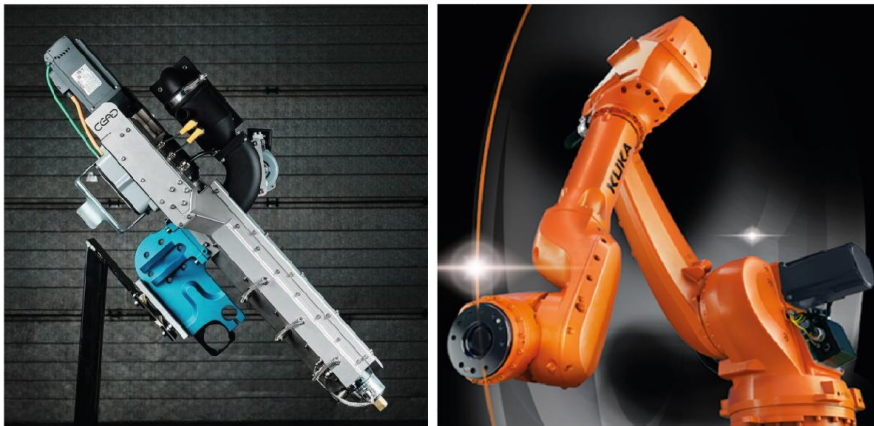
Este capítulo divide-se em duas secções:

Em primeiro lugar é explicada a tecnologia utilizada, baseada em informação partilhada durante o período de estágio com os profissionais do INEGI.

Em segundo lugar é descrita a evolução dos testes práticos onde foi possível explorar a tecnologia e perceber as suas limitações.

## Tecnologia

A tecnologia disponibilizada pelo INEGI foi um robô de impressão 3D de grande escala, constituída essencialmente por dois conjuntos: um pertencente à indústria CEAD Composite Additive Manufacturing, que ajuda na implementação de soluções de impressão 3D de compósitos termoplásticos para grande escala [50] e outro pertencente à empresa KUKA - empresa alemã especializada em robôs e sistemas de automatização industriais [51] - que fornece o robô industrial constituído pelo braço que permite a movimentação do extrusor para que este deposite o material.



[50] CEAD, <https://ceadgroup.com/>, 2022.

[51] KUKA, <https://www.kuka.com/en-us>, 2022.

Figura 87 e 79 - Extrusor CEAD Robot Extruder E25 e braço robô KUKA, KR IONTEC, respetivamente.

Figura 80 e 81 - Logo das empresas CEAD e KUKA, respetivamente.

Figura 82 – Robô disponibilizado pelo INEGI.

Os componentes da CEAD podem ser divididos em 4 partes com funcionalidades distintas:

- A cabine de controlo que é constituída por duas partes: o sistema de comunicação e controlo que permite fazer a verificação de material e manipula a extrusora através de um ecrã tátil com um sistema PLC (Programmable Logic Controllers) da Siemens e, em segundo lugar, pelo depósito de material que consegue armazenar até 25 kg de matéria prima.



- O secador Vismec DP50 com capacidade de 100 litros que pode armazenar o granulado até 8 horas e está diretamente ligado ao robô para o transporte do material até à boca de extrusão (existe a possibilidade de impressão 24 horas por dia com a utilização de um carregador automático). Este, utiliza uma roda dessecante de favos de mel para criar uma temperatura de condensação de cerca de  $-40^{\circ}\text{C}$  (graus Celcius) e temperaturas de aquecimento de  $50^{\circ}\text{C}$  a  $185^{\circ}\text{C}$ .



- O extrusor, Robot Extruder E25, é uma máquina de conceção personalizada a alta temperatura, dedicada à impressão 3D onde o material utilizado pode ser quase qualquer termoplástico e alimentado através de granulados. Nesta ocasião, foi utilizado um compósito de polipropileno reforçado com 30% de fibra de vidro, disponibilizado também pelo INEGI. O extrusor utilizado contém quatro zonas de aquecimento para fundir gradualmente o termoplástico até temperaturas de  $400^{\circ}\text{C}$ . Devido à sua superfície nitrurada endurecida, é possível utilizar fibras para reforçar o material sem provocar quase desgaste durante a impressão, que torna possível a extrusão de uma vasta gama de materiais. Existem ainda diferentes tipos de bicos de extrusão, que são das peças mais sujeitas a desgastes durante a vida do robô. É

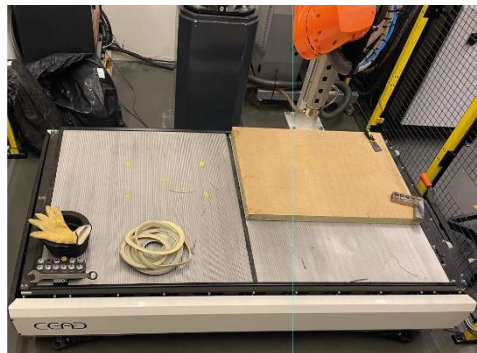
Figura 83 - Cabine de controlo CEAD.  
INEGI. 2022.

Figura 84 - Secador Vismec DP50 e tubo de transporte. INEGI.

possível serem alterados consoante a largura de extrusão pretendida, possibilitando diferentes espessuras e larguras do filamento de impressão. Existe um conjunto de 12 bicos de dois materiais e dois perfis diferentes, latão e aço revestido a níquel, onde os tamanhos dos orifícios são de 3, 4, 5, 6, 8 ou 10 mm.



- A mesa de impressão, com dimensões de 1.2 m de largura por 1.8 m comprimento, consiste em perfis de alumínio concebidos para segurar peças produzidas por fabrico de aditivo de grande escala. Esta mesa, desenvolvida pela CFAM Prime, permite também prender e remover facilmente placas de madeira por vácuo que podem ser colocadas por cima, proporcionando uma plataforma de construção rígida, estável e fácil de utilizar.



Por outro lado, o braço do robô industrial da KUKA, KR IONTEC, é um braço de robô flexível e versátil, disponível para uma ampla gama de aplicações na faixa de capacidade de carga de 20 até 70 quilogramas. Foi concebido para ser leve e com um elevado rendimento.

### Workflow

Os processos de impressão 3D partilham quase sempre as mesmas etapas de funcionamento. Quando se pretende produzir um modelo físico, recorrendo a uma tecnologia de prototipagem rápida, de uma maneira geral, começa-se sempre com modelo CAD, um desenho assistido por computador feito através de programas de modelação 3D. A compatibilidade de dados entre diferentes sistemas CAD, permite uma maior eficácia e rapidez durante o projeto, no entanto é necessário que a modelação seja armazenada num determinado formato. O STL (Standard Triangle Language), desenvolvido pela 3D-Systems é, provavelmente, o mais conhecido e

Figura 85 e 86 - Extrusor CEAD e diferentes bicos de extrusão. INEGI.

Figura 87 - Mesa de impressão CEAD. INEGI.

consiste no armazenamento de dados do objeto 3D sob a forma de uma superfície triangularizada. Este, substitui toda a superfície da geometria por triângulos, sem qualquer outro tipo de representação como cor, textura ou outros atributos [52].

De seguida, esta informação é transformada num arquivo binário para reduzir o espaço de armazenamento do ficheiro e posteriormente esse ficheiro STL é transferido para um programa que prepara a peça para impressão 3D, divide a geometria numa série de camadas paralelas e o caminho do processo de impressão é planeado. Para este caso, os programas utilizados para fatiar a peça, foram o CURA ou o Simplify3D. Neste processo é necessário definir uma série de parâmetros que devem ser estudados consoante a geometria e tecnologia, como altura das camadas, tamanho da mesa de impressão, características de extrusão, velocidades, entre outros.

Após estas configurações, é feito o fatiamento da peça em camadas e gera-se um “G CODE”, um código de programação que permite dar a conhecer à máquina o caminho que esta tem que percorrer para a impressão da peça. De seguida, este código é transposto para o programa RoboDK, que permite simular o movimento do robô e, se necessário, alterar algumas etapas do movimento ou programação. Também, deve-se seleccionar um pós-processador no programa que permite fazer a ligação entre o sistema KUKA e a CEAD.

Um pós-processador é um arquivo escrito em linguagem de programação, responsável por traduzir as informações inseridas no programa, para que o robô as consiga ler. Pode-se corrigir ou adicionar pequenas funções ou movimentos. Por exemplo, neste caso o robô foi programado para parar sempre que identificasse movimentos na mesa de impressão por razões de segurança.

Posteriormente, gera-se o conjunto de códigos em formato SRC (Source Code File) e envia-se para o robô.



De seguida, na consola KUKA do robô, é necessário verificar se as coordenadas da base e da posição inicial do bico de extrusão coincidem com os valores colocados nos programas anteriores. Estes fatores são importantes, por definirem o plano em que a primeira camada vai ser impressa e permitir perceber qual a normal relativamente à mesa de impressão, para que a extrusão se construa perfeitamente na vertical.

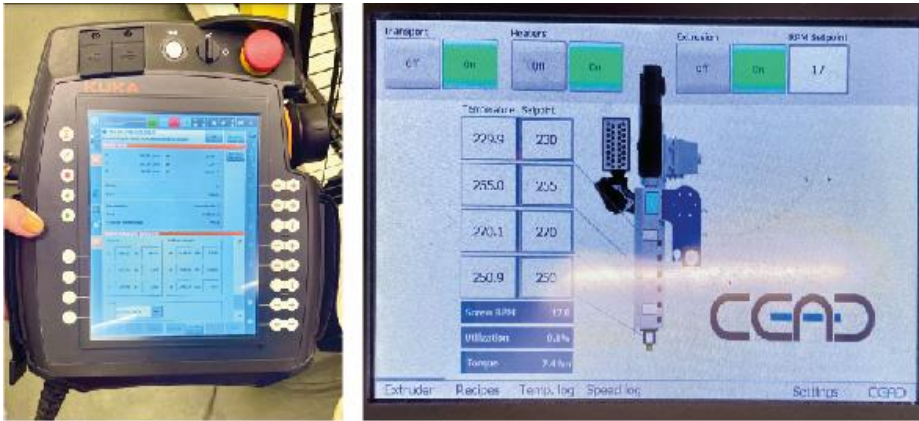
Tanto para definir a base, como a posição inicial do extrusor, são sempre necessários 3 pontos tridimensionais, que se definem movendo o bico de extrusão para as coordenadas desejadas e são gerados valores em três ordenadas (x, y, z), que permitem a sua identificação.

Existem dois tipos de controladores para o robô, a consola de mão da KUKA e o controlador HMI da CEAD, situado na cabine de controlo. O controlador da KUKA, foi projetado para dominar facilmente todas as operações de impressão, enquanto que o controlador HMI permite controlar propriedades relativas ao material de impressão e

[52] Personal Electric Transportation (P.E.T Mini Skate) — Development of an Open Source, Recycled, Electric Skateboard. João Leão. 2018.

Figura 88 - Simulação do movimento de extrusão do robô, RoboDK.

transportador, como a temperatura dos aquecedores de extrusão ou funcionamento do transporte de material. Estas duas últimas iterações devem ser ativadas, e após verificar se existem granulados suficientes para a impressão, espera-se que o extrusor aqueça e inicia-se a construção das peças.



Nas primeiras vezes, deve-se sempre correr o programa sem extrusão de material, para perceber se todos os pontos estão bem definidos e se a impressora segue o caminho planeado. O robô, tem quatro modos de funcionamento (descreve-se os três utilizados):

- Modo T1 - Um modo de velocidade reduzida, normalmente utilizado para operações de teste, programação e ensino. Existe restrição de velocidade de impressão a 250 mm/s e a impressora só funciona num modo em que dois botões têm, obrigatoriamente, que estar a ser pressionados pelo operador;

- Modo T2 - Um modo de operações de teste em que a velocidade do programa já corresponde à velocidade programada. É exigida a presença de um operador;

- Modo Automático (AUT) - Um modo contínuo para robôs industriais sem controladores de nível superior, onde a necessidade de um operador durante o processo constantemente não é necessária. A velocidade no modo de programação corresponde à velocidade programada;

- Modo Automático Externo (AUT EXT).

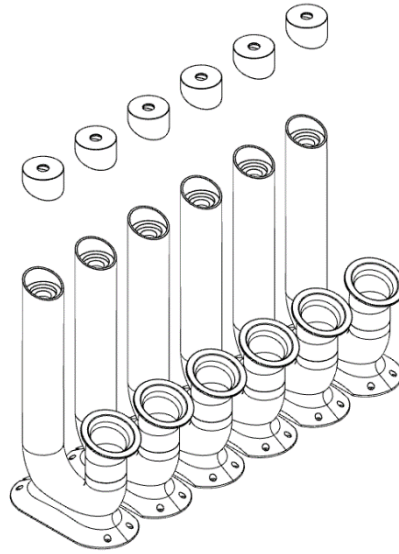
Independentemente da peça a ser impressa, o modo T1 deve ser sempre o primeiro a ser utilizado por questões de segurança e sempre que se faz alguma alteração a nível de código ou valores para impressão também. Após estes testes serem bem-sucedidos, é possível utilizar o modo automático (AUT) e acompanhar a construção da peça nos primeiros minutos.

## Testes Experimentais

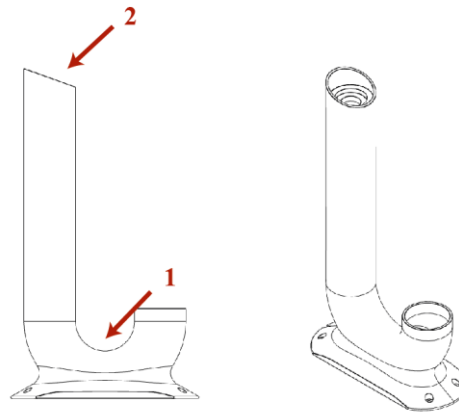
Nesta secção é detalhada a evolução dos testes práticos no robô de impressão 3D disponibilizado pelo INEGI. Vários problemas foram detetados e alterações realizadas ao longo do processo de exploração, no entanto permitiram a aquisição de um conhecimento mais aprofundado sobre a tecnologia e no fim foi possível a construção das peças desejadas para exposição.

Figura 89 - Etapa de identificação dos pontos da base na consola KUKA de mão, de controlo do robô.

Figura 90 - Ecrã tátil do controlador na cabine de controlo com as respetivas temperaturas dos aquecedores de



Antes de se começar a utilizar o robô, tentou-se prever quais seriam as zonas das peças que trariam maiores problemas, prevendo segmentá-las e estudar os limites de impressão nessas secções. Percebeu-se que o Corpo Principal (CP) teria duas situações desafiantes:

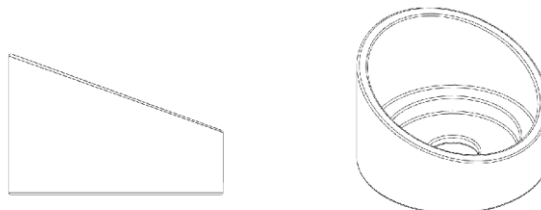


Em primeiro lugar, a partir da secção 1, pela extrusão passar a ser feita em duas secções distintas. Em segundo lugar na secção 2 por esta estar bastante distanciada da base e imprimir pequenas quantidades de filamento em várias camadas sucessivas. Semelhante à última secção, insere-se a geometria da Tampa de Cima (TC) por ter que ser impressa em sentido inverso e com camadas de pouco filamento:

Figura 91 – Pré-visualização das peças necessárias para construção.

Figura 92 - Vista frontal e isométrica do Corpo Principal (CP) com identificação dos maiores problemas previstos.

Figura 93 - Vista frontal e isométrica da Tampa de Cima (TC).



Para tentar resolver os problemas previstos na zona anterior, decidiu-se utilizar esta peça para definição dos parâmetros iniciais de impressão e logo no início dos primeiros testes notaram-se vários aspetos que deveriam ser corrigidos.

Começando pelo tamanho do bico do extrusor, altura da camada e extrusão, tendo em consideração que a maior parte das paredes da geometria tinham 10 mm de espessura, decidiu-se utilizar um extrusor com 5 mm de diâmetro pois, como referido no estado da arte, a espessura de uma parede de impressão deve ser pelo menos duas vezes maior do que o diâmetro do bico do extrusor [53].

A extrusão com um Nozzle de 5 mm de diâmetro não significa necessariamente que a largura do filamento extrudido seja 5 mm também. Para além da dilatação do filamento provocada pela compressão do bico do extrusor, a quantidade extrudida pode ser controlada pelo robô.

Este parâmetro foi bastante estudado, por se verificarem diferentes vantagens/desvantagens dependendo da secção a ser impressa. Por exemplo, na figura seguinte são comparadas duas quantidades diferentes de extrusão, a da esquerda com um tamanho de extrusão de 4 mm e a da direita de 6 mm de largura, ambas impressas com um nozzle de 5 mm de diâmetro:



No teste anterior, a extrusão com 4 mm cedeu, mas a extrusão com 6 mm, mesmo possibilitando uma impressão muito mais eficiente, também proporcionou um achatamento e contração do material. Paredes projetadas com 10 mm de espessura, eram impressas com 14 mm.

Nesta etapa, verificou-se também que as secções circulares com um diâmetro interno de 170 mm, tinham uma redução de diâmetro até aos 160 mm, ou de 180 mm para 165 mm, aproximadamente. Não podendo anular a contração do material, decidiu-se remodelar as peças para este fator não influenciar secções estratégicas da geometria, como poderia acontecer nos encaixes entre duas peças.

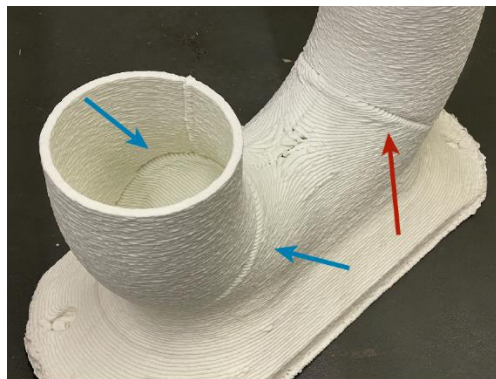
Quando se previu o tempo de construção da geometria do CP, percebeu-se que com um tamanho de extrusão de 6 mm haviam tempos de impressão que ultrapassavam as 15 horas disponibilizadas para uma impressão contínua, definidas pelo INEGI. Contrariamente à referência anteriormente utilizada “a espessura de uma parede de impressão deve ser pelo menos duas vezes maior do que o diâmetro do bico do extrusor”, em sintonia com o INEGI, experimentou-se utilizar um bico de extrusão de 5 mm com um tamanho de extrusão de 10 mm para construção de paredes apenas com um filamento e obteve-se resultados interessantes:

[53] Redwood, B., Schöffner, F., Garret, B.: 3D Hubs, The 3D printing Handbook, Technologies, design and applications, Coers & Roest, 2017.

Figura 94 - Comparação de duas impressões da mesma peça, uma com uma extrusão de 4 mm do lado esquerdo e outra com 6 mm do lado direito.



Com estes valores, a contração do material foi menor e houve bastantes melhorias em tempos de impressão, porém a nível de acabamento superficial, principalmente no CP, notaram-se algumas lacunas difíceis de corrigir.



Com a utilização de um tamanho de extrusão de 10 mm, percebeu-se que a impressão não conseguia ser contínua em duas secções que poderiam ser problemáticas (identificadas na figura anterior). Para as corrigir e garantir melhorias em tempos de impressão, decidiu-se pós-processar as peças depois de serem impressas. Para tal, colocou-se material de impressão 3D fundido de forma manual nestas secções e tentou-se recriar a textura da superfície original de impressão.



Figura 95 - Primeira Tampa de Cima com extrusão de 10 mm.

Figura 96 – Defeitos visíveis provocados na superfície exterior do novo CP.

Figura 97 e 98 – Defeitos no CP antes e após correção.

Para a velocidade de extrusão, começou-se com valores de 600 mm/min (velocidade inicial predefinida), mas percebeu-se que eram muito baixos tendo em conta o tamanho da peça e alguns dos parâmetros anteriormente definidos. Vários testes foram realizados e foi-se aumentando os valores de velocidade até aos 3000 mm/min, que se considerou ideal para estas impressões.

Porém, o aumento da velocidade não foi uma garantia total para haver uma boa eficiência entre material extrudido e a velocidade de impressão. Em algumas zonas, reparou-se que o material não tinha tempo de solidificar e começava a fundir, caso existissem camadas sucessivas com pouca quantidade de filamento como demonstrado na Figura 99.

Para resolver estes problemas e proporcionar um arrefecimento constante para todas as camadas, definiu-se que o início de cada uma devia esperar sempre pelo menos 2 minutos antes da próxima ser impressa. Assim, se uma camada demorar 30 segundos a ser finalizada, o extrusor tem que esperar 90 segundos até a próxima começar. Para camadas com tempos superiores a 2 minutos, o extrusor não espera e existe um depósito contínuo de filamento.

Devido à utilização deste novo parâmetro os tempos de impressão previstos ultrapassavam largamente as 15 horas de impressão, entanto com a evolução da confiabilidade do robô de impressão, em sintonia com o INEGI, esta restrição de tempo foi ultrapassada e as maiores peças, foram impressas em aproximadamente 22 horas.



Em algumas secções com paredes de elevada inclinação, houve cedência de filamentos de extrusão e percebeu-se que a diminuição da velocidade traria melhores resultados.

Nas figuras seguintes, ao se diminuir este parâmetro, conseguiu-se fazer com que o filamento fosse solidificado a distâncias muito próximas do extrusor e começasse a corrigir as camadas defeituosas previamente impressas, camada após camada:



Definiu-se também que o material de enchimento deveria ser mais rápido do que o da periferia, no entanto percebeu-se que quando a extrusão do filamento não era contínua e o extrusor “saltava” de um ponto para outro, existia sempre a criação de algum material indesejado, que poderia trazer problemas nas próximas camadas. Para isso, programou-se o robô para, antes de cada salto, parar a extrusão durante 1 segundo e ao se movimentar não cruzar linhas internas previamente construídas numa mesma camada.

Figura 99 – Filamentos defeituosos em camadas com pequenas quantidades de material para ser impresso. Imagem do primeiro CP (tamanho de extrusão de 6 mm).

Figura 100 a 103 - Evolução de camadas defeituosas, proporcionada pela diminuição de velocidade de extrusão.



No mesmo seguimento, percebeu-se que o sítio onde o extrusor subia de camada era um ponto de depósito de material indesejado.

Este problema foi sempre presente ao longo de todas as peças e não se conseguiu resolver na totalidade. Ainda se tentou fazer com que o extrusor subisse de camada em pontos aleatórios, distribuídos ao longo de uma mesma construção, mas percebeu-se que daria um trabalho de pós-processamento muito maior.



Um dos maiores problemas que se teve ao longo dos testes práticos foi a tentativa de fixação da base da peça à mesa de impressão que, por haver uma grande diferença de temperatura entre a base e o material de impressão, existem tensões residuais na estrutura que provocam vários empenos e contrações. Com a criação destas deformações, nas camadas seguintes pode haver uma compressão exagerada do filamento de extrusão, estragos no extrusor ou aumento da possibilidade de ocorrência de deslizamentos da peça, pela distância do bico de extrusão ao material endurecido ser cada vez mais próxima. Em muitas das ocasiões, o empeno das primeiras camadas só se começava a notar a partir de outras mais avançadas e várias impressões tiveram que ser descartadas.

Figura 104 - Vista inferior de uma imperfeição causada pelo extrusor quando salta e deixa um rasto de filamento indesejado.

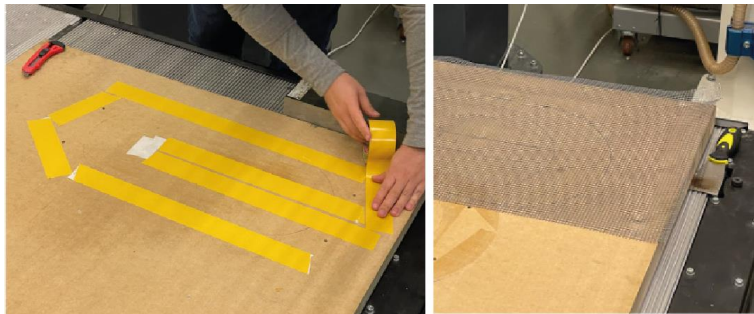
Figura 105 e 106 - Defeitos provocados pelo extrusor quando sobe de camada. Ponto de subida localizado e espalho pela superfície, respetivamente.

Figura 107 e 108 - Evolução do empeno na primeira camada ao longo da construção, na mesma secção.



Para tentar resolver estes problemas surgiram várias soluções:

- Em primeiro lugar tentou-se colocar fita cola adesiva de impressão 3D para aumentar a resistência que o material tem ao se agarrar à mesa de impressão, porém não foi suficiente pela superfície da mesa (inicialmente de madeira) absorver rapidamente a cola colocada. Pensou-se em utilizar uma rede de vedação presa à base de impressão com agrafos, mas também não conseguiu suportar a contração do material;



- Em segundo lugar, pela parte de baixo da base da estrutura não ficar visível para o público, pensou-se que esta não necessitaria de um preenchimento completamente sólido e que a utilização de um preenchimento espaçado logo a partir da primeira camada, poderia beneficiar num arrefecimento constante. Utilizou-se um enchimento de 20% que solucionou parte do empenamento da primeira camada, mas percebeu-se que a estabilidade das paredes de topo e laterais mais inclinadas tinham ainda imperfeições acentuadas:



- Em terceiro lugar, decidiu-se remodelar o interior da peça, com o objetivo de tirar a maior quantidade possível de material, tentar fazer com que não houvesse criação de material de enchimento e com isso, proporcionasse a construção de uma peça quase completamente sólida. Assim, removeu-se material das zonas mais cheias da peça (com espessuras superiores a 10 mm), respeitando sempre as inclinações relativamente à vertical como inicialmente se previa (45°).

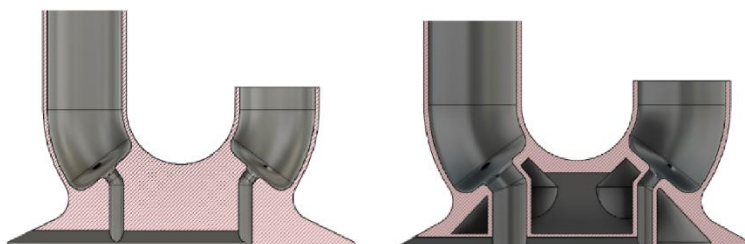


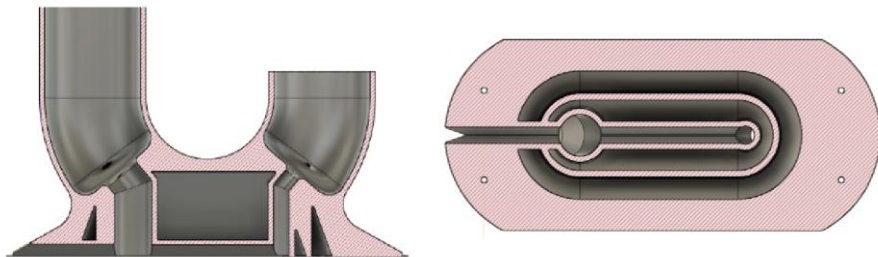
Figura 109 e 110 - Momento de colocação de fita cola de dupla face e rede de vedação para aumento da aderência da base do CP.

Figura 111 e 112 - Defeitos provocados pelo enchimento de 20% com padrão hexagonal na superfície lateral da geometria e cedência das camadas de topo devido ao espaçamento do enchimento utilizado.

Figura 113 e 114 - Primeira evolução da geometria interior da secção da base.

Nesta fase, após a impressão destes novos testes, percebeu-se que a restrição de inclinação utilizada das paredes relativamente à vertical, não se aplicava a esta tecnologia com as atuais características de impressão. O filamento extrudido demorava muito tempo a arrefecer e as paredes deformavam-se bastante quando este não estava completamente apoiado pelo filamento impresso na camada anterior.

Para resolver esta situação, fez-se testes de inclinação e percebeu-se que, com os parâmetros de velocidade e tamanho de extrusão utilizados, o filamento começava a deformar para inclinações superiores a 30° relativamente à vertical. Por uma questão de segurança, decidiu-se que inclinações de 20° ou inferiores, seriam as ideias para a construção das paredes internas das peças e remodelou-se a geometria para se enquadrar com esta restrição:



- Por último, em quarto lugar (voltando às soluções para o empeno da base), decidiu-se modelar um pequeno rebordo pela periferia interna e externa da primeira camada para, após a sua impressão, se pausar o movimento do robô e através de taxas ou agrafos, se prender a primeira camada à mesa de impressão. Este método (não eficiente para futuras construções, por necessitar de trabalho extra manual), foi o mais viável dos analisados no tempo disponibilizado para exploração da tecnologia e permitiu a construção das peças pretendidas.

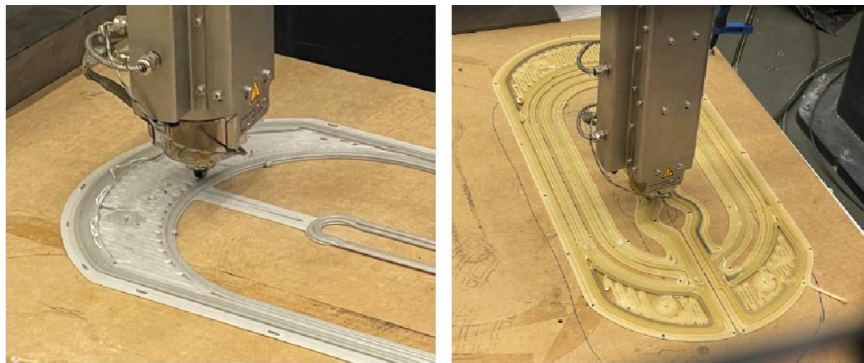


Figura 115 e 116 - Vista de corte lateral e de baixo da geometria interior final da secção da base do CP.

Figura 117 e 118 - Métodos de fixação da primeira camada, agrafos e taxas pregadas na periferia, respetivamente.

Por distração, utilizou-se um polipropileno ligeiramente diferente no primeiro CP a ser construído. Visualmente diferenciava apenas na cor, mas após identificação do material, percebeu-se que não era reforçado com fibra de vidro e proporcionou uma retração do material maior do que a esperada.



Como esta foi a primeira peça completa a ser impressa, surgiram alguns problemas. Nesta altura decidiu-se pausar o robô durante a noite e continuar no dia seguinte, no entanto, durante este intervalo, a base descolou-se e moveu-se ligeiramente da mesa de impressão. Consequentemente, quando se continuou a construção ocorreu uma cedência de filamentos muito notória, que impediu a utilização da mesma para exposição. Foi visível também a passagem do polipropileno reforçado com 30% de fibra de vidro (em baixo) para aquele que por engano foi colocado (em cima).

Não podendo dar utilidade a esta peça, decidiu-se testar o pós-processamento e perceber que dificuldades é que se poderia encontrar. Inicialmente, tinha-se planeado contactar empresas para acabamentos superficiais como a HENFILGON, CAETANO COATINGS, NOVACOAT (pintura com robôs industriais), garagens de pinturas, chaparias e oficinas de reparações, no entanto ou não trabalhavam com este tipo de projetos, ou estavam ocupadas e apenas conseguiam o trabalho numa data muito longe da prevista.

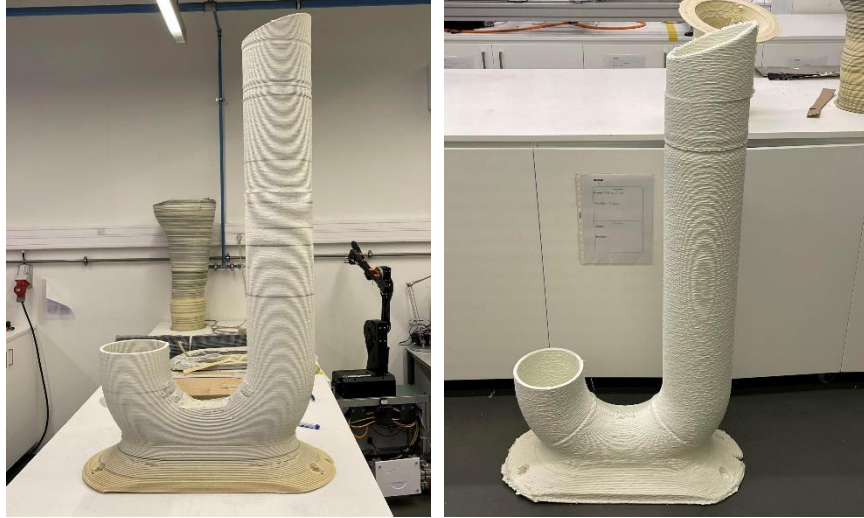
Desta maneira, tentou-se lixar e alisar a superfície do primeiro CP de forma manual, mas o tratamento superficial foi de extrema dificuldade. Necessitou-se de mais de 24 horas para lixar o primeiro CP e não se chegou a um resultado satisfatório:



Figura 119 - Primeiro CP completo impresso. Laboratórios de fabrico aditivo. INEGI.

Figura 120 a 122 - Superfície do primeiro CP após acabamento superficial.

Com o evoluir das impressões, decidiu-se utilizar a textura dada pela tecnologia como motivação para criar algo ainda mais interessante do que o que inicialmente se previa e decidiu-se repensar na maneira como deveríamos realizar os acabamentos.



Para a construção da Boca do Som (BS) e da Tampa de Cima (TC), utilizaram-se estratégias similares, com a exceção de que ambas foram impressas no sentido inverso para possibilitar a construção das geometrias pretendidas.

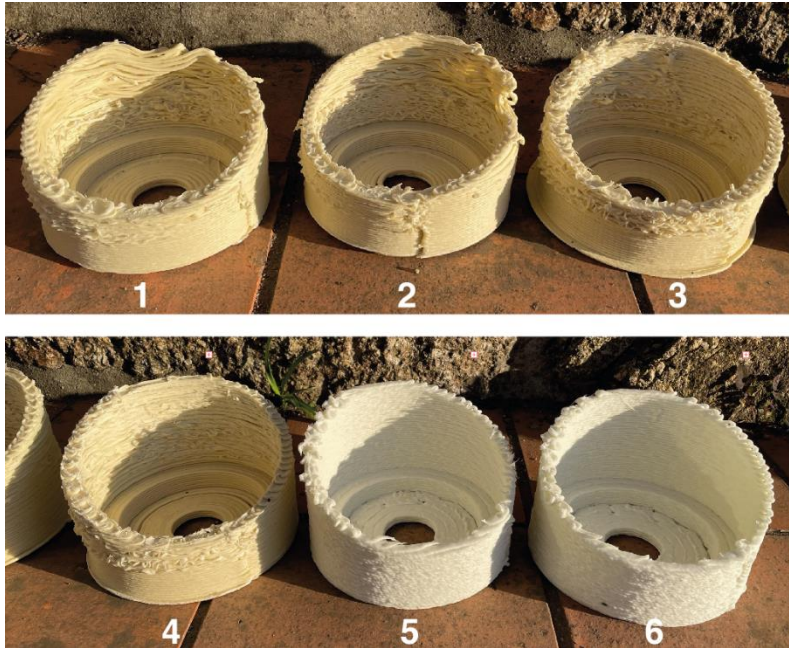


Figura 123 e 124 – Segundo e terceiro CP, apto para exposição.

Figura 125 e 126 – Evolução da construção de uma Tampa de Cima (TC).

Figura 127 e 128 – Evolução da construção de uma Boca do Som (BS).

Através da comparação da evolução dos TCs, percebeu-se que poderia ser interessante utilizar propositadamente as peças com imperfeições no artefacto porque estas irregularidades poderiam ser associadas a raízes ou a troncos das vinhas do Douro:



O mesmo aconteceu com algumas das BSs e alguns dos CPs e pensou-se que estas poderiam ser expostas de acordo com a qualidade de impressão para demonstrar a evolução do processo de construção.



Figura 129 e 130 – Evolução das Tampas de Cima (TCs).

Figura 131 – Exemplo de imperfeições na base do CP.

Na figura seguinte juntou-se as três peças que compõem um saxofone, juntamente com um recipiente com vinho para percepção da escala do conjunto para exposição:



Figura 132 a 134 – Primeiro saxofone completo com um recipiente com vinho. Composto por: Corpo Principal; Tampa de Cima e Boca de Som.

## Pós-processamento

Inicialmente, planeou-se produzir uma superfície completamente lisa, no entanto como mostrado anteriormente, as tentativas de aperfeiçoamento superficial durante o pós-processamento do primeiro CP, foram de extrema dificuldade.

Desta maneira, planeou-se pintar as peças diretamente por cima do material de impressão pelas peças produzidas começarem a ser cada vez mais eficientes.

Com o objetivo de procurar uma maneira de atribuir um significado à pintura das peças, surgiu a ideia de as riscar com plumbagina ou cobri-las com grafite em pó para lhes atribuir uma cor cinzenta escura e brilhante, semelhante à de um desenho a lápis.



Para tal, poder-se-ia barrar a peça com a pedra de plumbagina ou espalhar o pó pela superfície do material, no entanto após se pintar a primeira camada, percebeu-se que estes métodos demoravam muito tempo e que se gastava bastante material numa área relativamente pequena. Desta maneira, decidiu-se aplicar uma tinta de celulose para automóveis diretamente nas peças de impressão, pelo material utilizado ser semelhante a utilizados em para-choques de carros. Assim, para além deste ser um processo muito mais rápido, assegurava-se a aderência do material e após algumas tentativas chegou-se a um resultado muito satisfatório.



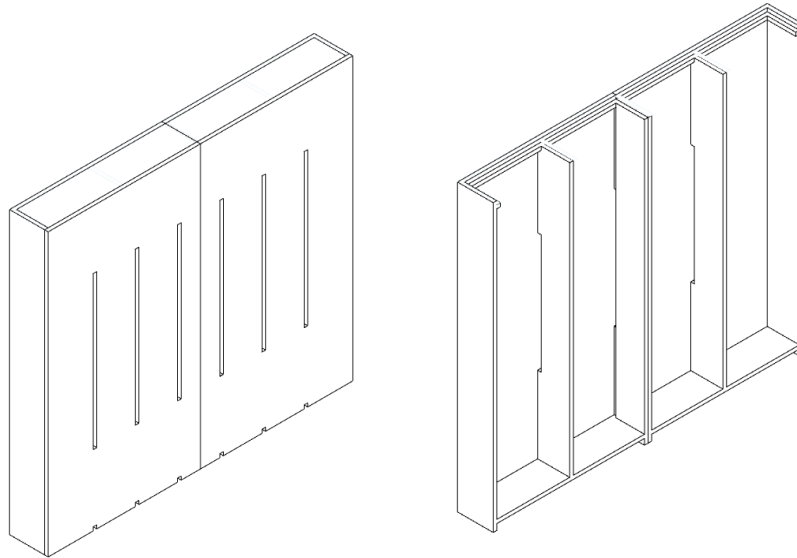
Figura 135 e 136 - Pedra de plumbagina e pó de grafite, respetivamente.

Figura 137 - Tampas de Cima pintadas com pó de grafite à esquerda e tinta sintética à direita.



### Instalação da parede vertical

Como referido no desenvolvimento de um conceito, planeou-se construir uma caixa para suportar as luzes verticais e permitir esconder uma parte dos componentes eletrónicos.



A construção da parede vertical foi realizada por uma carpintaria em Vila Nova de Gaia e financiada pela Poças. O desenho anterior foi ligeiramente adaptado para corresponder à solução final produzida em colaboração com a carpintaria. Decidiu-se dividir os planos maiores em dois por uma questão de transporte e utilizou-se MDF hidrófugo para resistir à humidade ou caso o local de exposição necessitasse de ser limpo com água. As luzes verticais foram projetadas para estarem ligadas durante toda a experiência. Utilizaram-se luzes LED de 4000 K, de 12 Watts.

Figura 138 e 139 – Pintura final de peças BS e CPs antes da exposição no Centro de Visitas da Poças.

Figura 140 e 141 – Pré-visualização da parede de suporte das luzes verticais.



## Instalação do Sistema Musical

Como mencionado na fase de desenvolvimento, através de Manel Cruz, conseguiu-se o contacto do músico e compositor Nuno Mendes, que se mostrou disponível para a construção de um sistema de som. Este processo também foi financiado pela Poças, mas de acordo com o valor disponibilizado para a colaboração do artista, utilizou-se componentes de baixo custo para possibilitar a realização da experiência.

É importante relembrar que, para além de uma experiência musical, pretendia-se que houvesse um feedback visual através de luzes colocadas por baixo dos recipientes de vinho. Desta maneira, utilizaram-se os seguintes componentes:

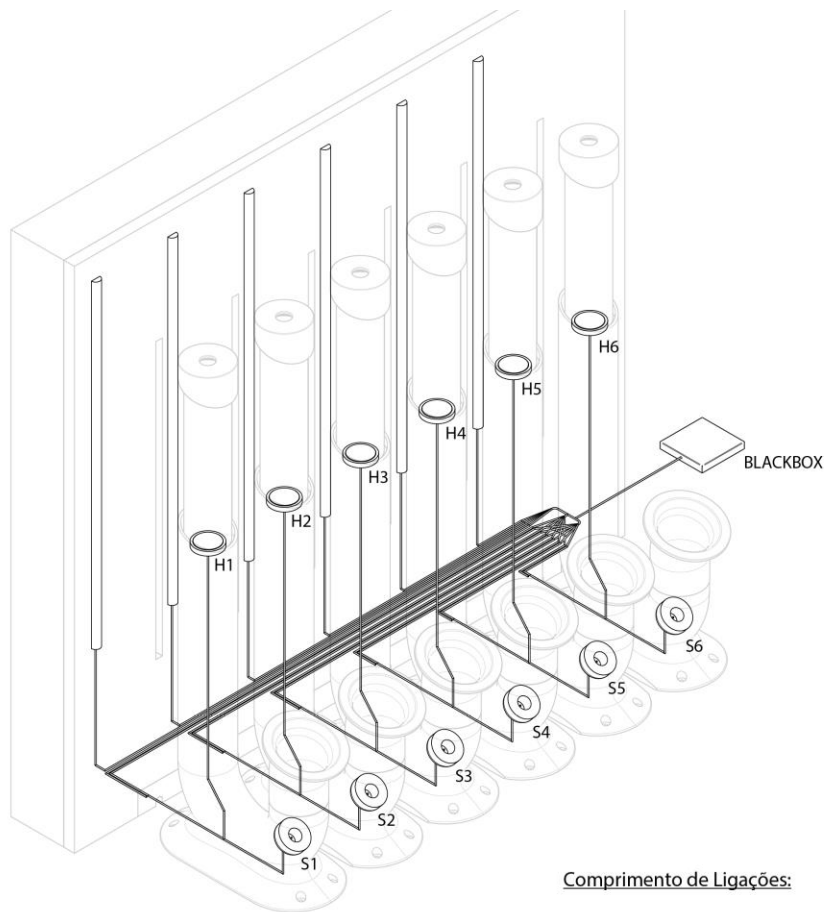
Figura 142 a 145 – Etapas de construção da Parede Vertical.

Componentes	Quant.	Preço	Local de Compra / Site	
<b>SOM</b>				
Computador Mac Mini 2.66 8GB Ram (usado)	1	90 €	OLX	
Monitor Samsung Sync (usado)	1	20 €	OLX	
Rato e teclado	1	15 €	Aquário Eletrónica, R. Dr. Júlio de Matos 65, 4200-356 Porto	
Placa de som Saffire PRO24 Focusrite (usado)	1	60 €	OLX	
Microcontrolador Arduino Leonard	1	23.65 €	<a href="https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-2430">https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-2430</a> , 2022.	
Breadboard	1	1.55 €	<a href="https://mauser.pt/catalog/pesquisa.php?keywords=breadb">https://mauser.pt/catalog/pesquisa.php?keywords=breadb</a> , 2022.	
Cabos Jumpers MF, MM ou FF	Aprox. 5 m	Aprox. 20 €	<a href="https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7938">https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7938</a> , 2022. <a href="https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7937">https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7937</a> , 2022. <a href="https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7939">https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7939</a> , 2022.	
Sensor de Movimento PIR (HC-SR501)	6	6 x 2.40 €	<a href="https://mauser.pt/catalog/pesquisa.php?keywords=PIR%20%28HC-SR501%29%20">https://mauser.pt/catalog/pesquisa.php?keywords=PIR%20%28HC-SR501%29%20</a> , 2022.	
Colunas de Som Ewent EW3501 2.0 USB	6	6 x 10.10 €	<a href="https://www.aquario.pt/pt/product/ewent-altifalante-de-secretaria-20-alimentado-por-usb-ew3501">https://www.aquario.pt/pt/product/ewent-altifalante-de-secretaria-20-alimentado-por-usb-ew3501</a> , 2022.	
JEEUE 1/4" to 3.5mm	6	6 x 3.30 €	Danceplanet, R. de Sá da Bandeira 96, 4000-427 Porto	
Cabos	Cabo 4 cores espalmado	50 metros	28.93 €	<a href="https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=306-4122">https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=306-4122</a> , 2022
	Adam Hall K4BYV0600	2 x 6 metros	2 x 16.90 €	Danceplanet, R. de Sá da Bandeira 96, 4000-427 Porto
	Quik Lok J35J35F-5	4 x 5 metros	4 x 11.70 €	Danceplanet, R. de Sá da Bandeira 96, 4000-427 Porto
<b>ILUMINAÇÃO</b>				
Módulo relé 5V - Arduino	6	6 x 1.45	<a href="https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7804">https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7804</a> , 2022.	
Cabos Jumpers MF, MM ou FF	Aprox. 2 m	Aprox. 8 €	<a href="https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7938">https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7938</a> , 2022. <a href="https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7937">https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7937</a> , 2022. <a href="https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7939">https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-7939</a> , 2022.	
Cabo H05VV-F 4G1.5MM2	Aprox. 30 m	Aprox. 40 €	<a href="https://www.leroymerlin.pt/produtos/electricidade-e-smart-home/cabos-e-calhas-eletricos/cabos-e-fios-eletricos/cabo-h05vv-f-4g1-5mm2-ao-metro-branco-top-cable-18572855.html">https://www.leroymerlin.pt/produtos/electricidade-e-smart-home/cabos-e-calhas-eletricos/cabos-e-fios-eletricos/cabo-h05vv-f-4g1-5mm2-ao-metro-branco-top-cable-18572855.html</a> , 2022.	
Foco de encastrar RED MANOA 1000LM D12, 4000K – 3000K	6	9.98 €	<a href="https://www.leroymerlin.pt/produtos/iluminacao/iluminacao-de-teto/focos-led/focos-de-encastrar/foco-de-encastrar-red-manoa-1000lm-d12-luz-amarela-neutra-82858825.html?src=clk">https://www.leroymerlin.pt/produtos/iluminacao/iluminacao-de-teto/focos-led/focos-de-encastrar/foco-de-encastrar-red-manoa-1000lm-d12-luz-amarela-neutra-82858825.html?src=clk</a> , 2022.	
<b>TOTAL</b>		<b>481.21 €*</b>		

\* Mais componentes foram necessários, no entanto foram disponibilizados pela equipa de montagem da Poças, no momento de instalação do sistema musical.

Tabela 5 – Componentes utilizados para a construção do Sistema Musical.

Para calcular o comprimento dos cabos de ligação dos componentes e interpretação da sua orientação pela estrutura, realizou-se um esquema virtual:



Comprimento de Ligações:

H1 a BLACKBOX: 5.20 m  
 H2 a BLACKBOX: 4.90 m  
 H3 a BLACKBOX: 4.50 m  
 H4 a BLACKBOX: 4.10 m  
 H5 a BLACKBOX: 3.80 m  
 H6 a BLACKBOX: 3.40 m

S1 a BLACKBOX: 4.50 m  
 S2 a BLACKBOX: 4.10 m  
 S3 a BLACKBOX: 3.80 m  
 S4 a BLACKBOX: 3.40 m  
 S5 a BLACKBOX: 3.00 m  
 S6 a BLACKBOX: 2.70 m

H a BLACKBOX (total): 25.9 m  
 S a BLACKBOX (total): 21.5 m

Legenda:  
 S: Sistema de Som  
 H: Luz Horizontal

Em colaboração com Nuno Mendes, foi possível perceber o funcionamento do sistema de som. Cada saxofone incorpora um sensor PIR para detetar a interação dos visitantes. Este sensor ativa uma luz colocada por baixo de cada um dos recipientes para proporcionar um “feedback” visual aos visitantes quando um som é ativado através de uma coluna escondida na boca de cada um destes saxofones. Esta coluna reproduz sons processados por um computador.

No projeto completo, todos os sensores de movimento estão ligados a um Arduino Leonardo, conectado também a um computador.

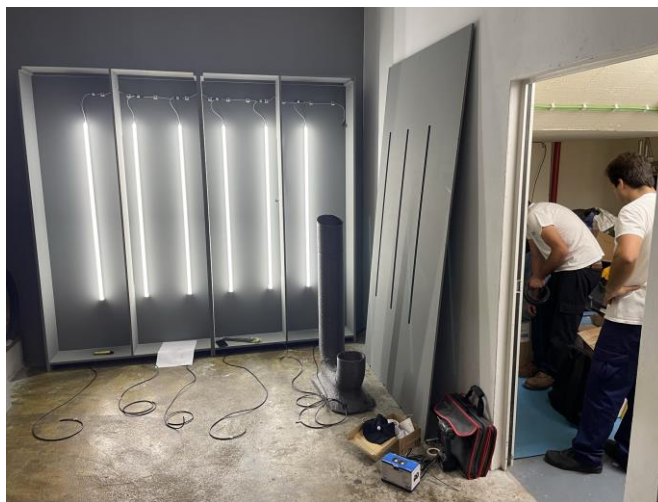
A placa Arduino foi programada para converter cada deteção de movimento em notas MIDI. Essas notas são processadas num software de tratamento de áudio digital, o Reaper, onde são harmonizadas e transformadas numa mistura simultânea de sons

Figura 146 – Esquema de ligação de componentes eletrónicos. A BLACKBOX corresponde ao lugar dos componentes projetados para serem colocados numa sala paralela.

tonais e samplers. Estes samplers baseiam-se nas diferentes fases de produção do vinho, nomeadamente: plantação, colheita, fermentação, trasfega, amadurecimento e engarrafamento. Essa combinação de sons cria uma atmosfera sonora envolvente e temática que enriquece a experiência do visitante.

Eis algumas etapas do processo de construção:

- Em primeiro lugar, foi necessário estabelecer uma ligação entre o computador, placa de som, Arduíno, e os saxofones através dos respectivos cabos de ligação:



- De seguida colocou-se os saxofones na posição correta e fez-se as ligações dos sensores de movimento e das luzes que seriam colocadas por baixo dos recipientes com vinho. De maneira a que os componentes de som não ficassem visíveis pela boca do saxofone, decidiu-se colocar um pano entre a Boca de Som (BS) e o Corpo Principal (CP).

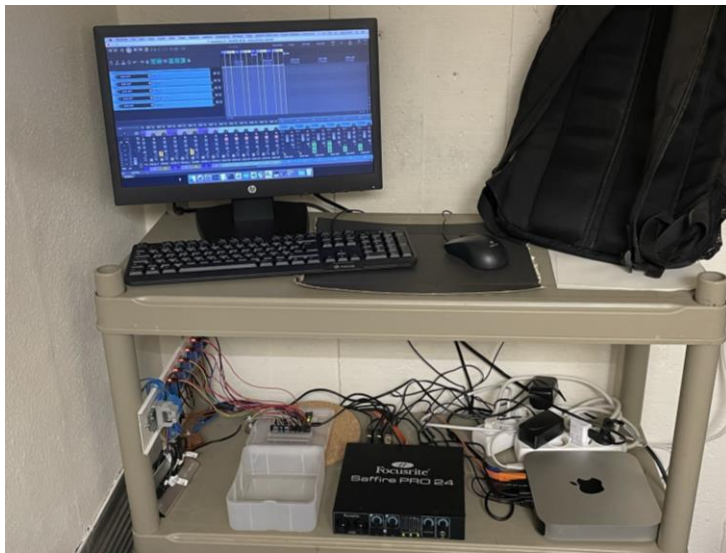


Figura 147 – Momento de colocação dos cabos de ligação entre os componentes do corredor de visitas e a sala paralela.

Figura 148 – Momento de instalação das colunas e sensores na boca do saxofone e ligação das luzes que seriam colocadas por baixo dos recipientes com vinho.



- Por último fez-se a instalação dos componentes restantes na sala lateral, nomeadamente o Arduino, a placa de som, computador, monitor, relés e fontes de alimentação:



Após a instalação de todos os componentes eletrônicos, os saxofones foram aparafusados ao chão, os recipientes foram enchidos com vinho e pintaram-se as falhas de tinta visíveis nas peças, que se desgastaram durante o seu transporte. Também, com o objetivo de conservar o vinho dentro dos recipientes, foram projetadas seis rolhas de cortiça, desenhadas cuidadosamente para os recipientes, uma vez que os diâmetros internos de cada um, variavam ligeiramente em alguns milímetros.

Figura 149 e 150 – Fotografia próxima da instalação dos sensores, colunas e pano para impedir a visualização dos componentes eletrônicos durante a experiência.

Figura 151 – Instalação dos componentes principais de funcionamento do sistema de som. Sala paralela ao corredor de



Figura 152 – Instalação de todos os saxofones antes da colocação dos recipientes com vinho.

Figura 153 e 154 – Tampas de cortiça construídas.

Figura 155 – Momento de colocação dos primeiros recipientes com vinho e teste do funcionamento dos sensores.

## Desenhos Técnicos e Informações

Número de Peças por Fabrico Aditivo: 18

Peso total de Peças por Fabrico Aditivo: 210 Quilogramas

Tempo total de Impressão: 93 horas e 42 minutos

Material Fabrico Aditivo: Polipropileno reforçado com 30% de fibra de vidro

Material Parede Vertical: MDF hidrófugo

Unidades: Centímetros

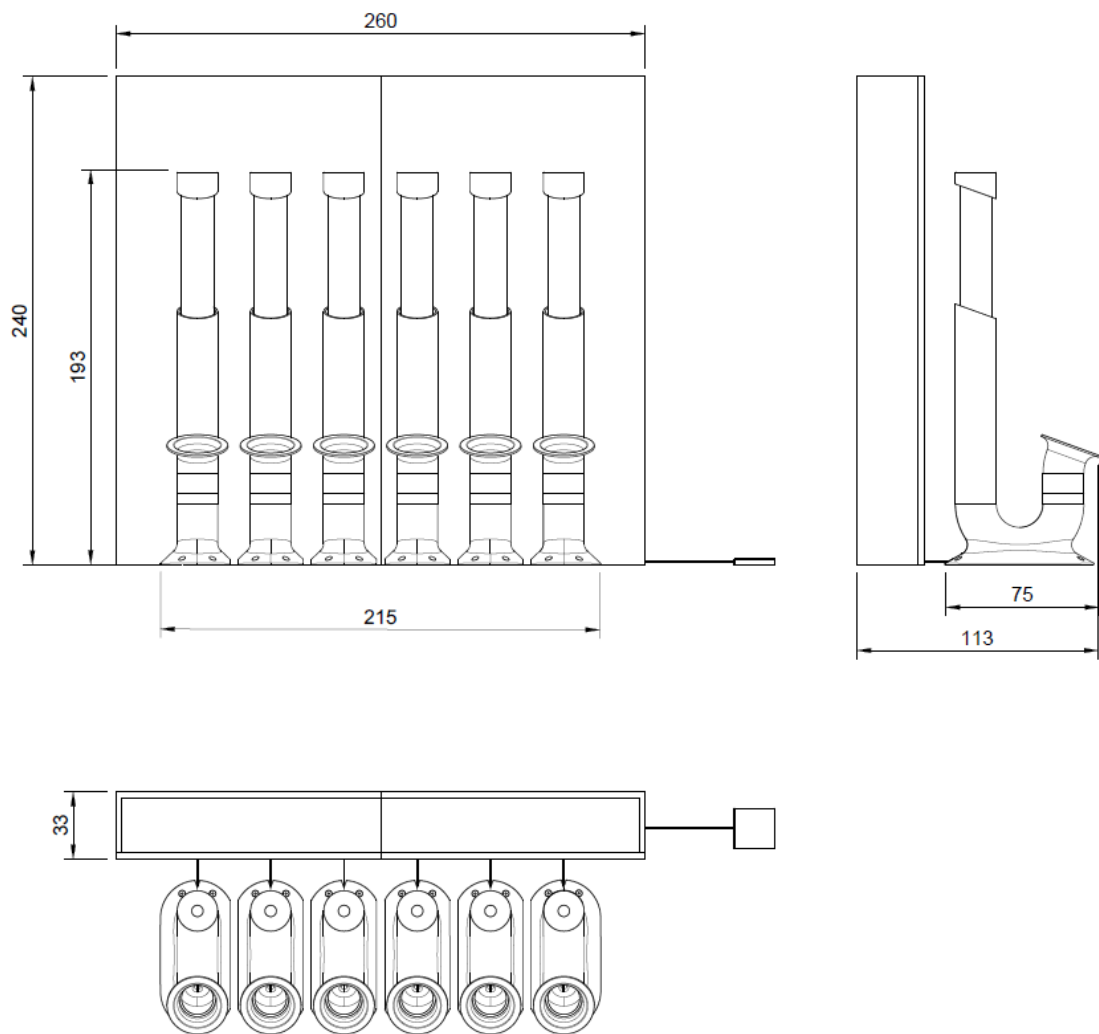


Figura 156 a 158 – Vistas Frontal, Lateral e de Cima do Conjunto Completo.

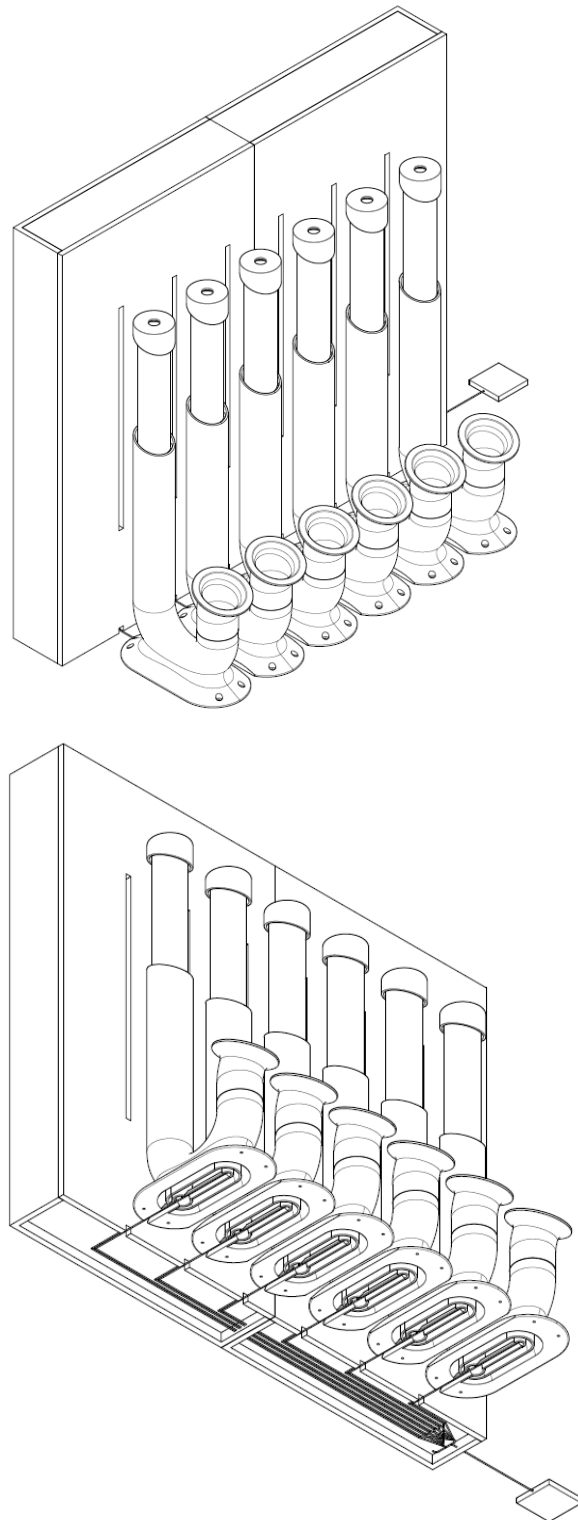


Figura 159 e 160 – Vistas isométricas do Conjunto Completo.

## Resultados e Análise

O projeto Poças: Hexafones, faz parte do Centro de Vistas Poças e é constituído por 18 peças fabricadas numa tecnologia de fabrico aditivo de grande escala no INEGI. Estas peças foram utilizadas para construir uma experiência musical, visual e interativa constituída por 6 conjuntos de peças em forma de saxofone com 6 recipientes de vidro. Este projeto tem como principal objetivo demonstrar as diferentes cores de um Vinho do Porto da Poças e cativar a atenção dos visitantes durante as visitas do Centro.

Cada saxofone incorpora um sensor PIR para detetar a interação dos visitantes. Este sensor ativa uma luz colocada por baixo de cada um dos recipientes para proporcionar um “feedback” visual aos visitantes quando um som é ativado.

Para além disso, cada saxofone contém uma coluna escondida em cada uma das suas bocas que reproduzem sons processados a partir de um computador conectado a uma placa de som, um Arduíno e sensores de movimento. A instalação musical e os sons produzidos foram realizados pelos artistas portugueses Manel Cruz e Nuno Mendes que permitiram a construção de uma experiência muito mais imersiva, onde os sons utilizados, baseiam-se nas diferentes fases de produção do vinho, nomeadamente: plantação, colheita, fermentação, trasfega, amadurecimento e engarrafamento.

Nas páginas seguintes são mostradas fotografias do resultado final, após o projeto ser exposto no Centro de Visitas da Poças.







Figura 1631 a 169 – Fotografias finais do artefacto para exposição.

## Limitações e Futuras Sugestões

Embora o projeto Poças: Hexafones tenha sido viável para exposição, durante a construção do projeto surgiram alguns contratempos que prejudicaram a fluidez do processo de desenvolvimento:

No INEGI, durante a fase de experimentação da tecnologia houve uma avaria com o robô de impressão, que impossibilitou a sua utilização durante aproximadamente cinco meses.

Durante a sua exploração, as capacidades do robô de impressão não foram exatamente de encontro com características que inicialmente se previa e várias alterações a nível de geometria tiveram de ser realizadas.

O mesmo aconteceu no pós-processamento das peças, mas percebeu-se que estar disponível a novas soluções, pode garantir uma resposta ainda mais interessante do que a ideia inicial. Por exemplo, tinha -se idealizado uma superfície completamente lisa para os saxofones, mas após se perceber as dificuldades de pós-processamento e se começar a aperfeiçoar a textura de impressão, decidiu-se utilizá-la como motivação para fazer algo ainda mais interessante, por estas se poderem associar a troncos ou raízes das vinhas e utilizar peças deformadas para amplificar ainda mais este efeito natural.

Na Poças, a construção de um sistema musical esteve limitado ao orçamento disponibilizado pela empresa, tendo de se optar pela escolha de componentes eletrónicos de baixo custo para a sua construção.

Consequentemente, na fase de experimentação, notou-se alguns problemas e aspetos que no futuro poderão ser melhorados. Percebeu-se que se existir uma ativação de vários sensores ao mesmo tempo, pode existir um pequeno atraso entre o momento em que o sensor deteta um movimento e o momento em que um som é tocado. Para além disso, averiguou-se que a ativação das luzes colocadas por baixo dos recipientes interferia ligeiramente no funcionamento do sistema musical e que no futuro talvez se necessitasse de investir num sistema eletrónico mais avançado para que tudo funcionasse em sintonia.

Com a análise de construção deste artefacto e contribuição de exploração da tecnologia, pretende-se também transmitir as dificuldades passadas. Para além de uma versão resumida, já publicada em artigo desta dissertação na conferência FAIM 2023, no futuro, pretende-se inspirar futuros designers ao divulgar detalhadamente a informação, visando ajudar o processo de desenvolvimento de novos produtos. Para além disso, no centro de visitas pretende-se criar uma placa com informação relativa às entidades que contribuíram para o projeto, bem como um link para que o processo possa ser explicado aos mais interessados.

Prevendo melhorar ainda mais a experiência na Poças, pretende-se também propor a incorporação de um sistema musical capaz de proporcionar uma experiência mais rápida, visto haver um pequeno atraso nos sons que são tocados.



## Conclusão

O projeto Poças: Hexafones faz parte do Centro de Vistas Poças e consiste num conjunto de 6 estruturas interativas e em impressão 3D de grande escala com mais de 2 metros de altura para expor as diferentes cores dos vinhos da empresa.

A grande inovação deste artefacto foi a idealização de uma peça que proporcionasse aos visitantes, não só uma experiência visual, mas também musical. Com a utilização de colunas escondidas, luzes e sensores de movimento, esta construção proporcionou a vivência de uma experiência imersiva e misteriosa para os visitantes. Vários testes de utilização foram realizados e através do movimento proporcionado pelas mãos dos utilizadores à frente das bocas dos saxofones, sons eram ativados e os recipientes com vinho, sincronizadamente iluminados.

Os sons utilizados foram produzidos em colaboração com músicos conceituados portugueses e a programação das faixas de áudio, permitiu que houvessem melodias quase sempre diferentes, garantindo uma curiosidade “no que vai tocar a seguir”.

Este artefacto foi produzido, utilizando uma tecnologia de fabrico aditivo de grande escala, significativo para o INEGI por ajudar na exploração de uma tecnologia e para a Poças pela construção de um projeto de design para cativar clientes.

# Bibliografia

- “3 - US > Projects - XtreeE.” *Https://Xtreee.com/En/*, xtreee.com/en/projects/.
- Azam, Ali, et al. “Design, Fabrication and Implementation of HE-OBCU-EGR Emission Control Unit on CI Engine and Analysis of Its Effects on Regulated Gaseous Engine Emissions.” *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 33, no. 1, Oct. 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.10.002>.
- Bandyopadhyay, Amit, et al. “Alloy Design via Additive Manufacturing: Advantages, Challenges, Applications and Perspectives.” *Materials Today*, vol. 52, Jan. 2022, pp. 207–224.  
<https://doi.org/10.1016/j.mattod.2021.11.026>.
- “CEAD B.V. | Large Scale 3D Printing | Robot & Gantry Systems.” *CEAD | Large Scale Additive Manufacturing*, ceadgroup.com.
- “Criatividade E Inovação.” *Poças - Produtor Independente de Vinhos DOC Douro E Do Porto*, 10 Nov. 2021, pocas.pt/criatividade-e-inovacao/.
- “Home - Poças - Produtor Independente de Vinhos DOC Douro E Do Porto.” *Poças - Produtor Independente de Vinhos DOC Douro E Do Porto*, 27 Sept. 2022, pocas.pt/.
- “Homepage - Kooij.” *Dirkvanderkooij.com*, dirkvanderkooij.com/.
- “Industrial Intelligence 4.0\_beyond Automation.” *KUKA AG*, www.kuka.com/en-us.
- “INEGI – Instituto de Ciência E Inovação Em Engenharia Mecânica E Engenharia Industrial.” *INEGI*, www.inegi.pt/.
- Jennings, D., & Wood, C. (1994). Wine: Achieving Competitive Advantage Through Design. *International Journal of Wine Marketing*, 6(1), 49–61.  
<https://doi.org/10.1108/eb008626>.
- Leão, João . “Personal Electric Transportation (P.E.T Mini Skate) — Development of an Open Source, Recycled, Electric Skateboard.” <https://www.makerisland.io/Pet-Skateboard>, 2018.
- “Manuel Jiménez García Designer.” *Nagami*, nagami.design/en/designer/manuel-jimenez-garcia/.
- M. Barata, Magda. Identidade Do Vinho Do Porto, Pela Tradição Da Sua Embalagem. 2009.*
- Mendonça, Luís. *Thirty Three Poças!*. Eterogemeas.com, 2017.
- Mendonça, Rui. *Desenho Pensar, Agir, Comunicar*. Modo de Ler - Editores e Livrários, 2010.
- M. Ramos, António, et al. *Design + Engenharia: Da Ideia Ao Produto*. PUBLINDUSTRIA, 2017.
- Munari, Bruno, *Das Coisas Nascem Coisas*. Lisboa, Edições 70, 1993.
- Nejat, Payam, et al. “A Global Review of Energy Consumption, CO 2 Emissions and Policy in the Residential Sector (with an Overview of the Top Ten CO 2 Emitting Countries).” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 43, no. 1364-0321, Mar. 2015, pp. 843–862.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>.
- “Philipp Aduatz Design.” *Philipp Aduatz*, www.philippaduat.com/.
- “Poças Fora Da Série.” *Poças - Produtor Independente de Vinhos DOC Douro E Do Porto*, 12 Aug. 2021, pocas.pt/pocas-fora-da-serie/.
- “Portugueses Entre Os Que Mais Cresceram.” *Jornal de Notícias*, www.jn.pt/nacional/portugueses-entre-os-que-mais-cresceram-5307136.html/.
- “Port Wine - Winesofportugal.com.” *Winesofportugal.com*, winesofportugal.com/en/portuguese-wines/wine-styles/vinho-do-porto/.
- Quinlan, Haden Edward, et al. “Industrial and Consumer Uses of Additive Manufacturing: A Discussion of Capabilities, Trajectories, and Challenges.” *Journal of Industrial Ecology*, vol. 21, no. S1, 16 June 2017, pp. S15–S20.  
<https://doi.org/10.1111/jiec.12609>.

- Redwood, Ben, et al. *The 3D Printing Handbook: Technologies, Design and Applications*. Amsterdam, The Netherlands, 3D Hubs B.V., 2018.
- Remelhe, Emílio , and João Ferrand. *100 ANOS 100 OBJETOS*. Edited by Pedro Poças Pintão, Manoel D. Poças Junior - Vinhos, S.A ed., Poças, 2018.
- Roser, Max, et al. "Human Height." *Our World in Data*, 2019, ourworldindata.org/human-height.
- Sá, João . *DESIGN E MÚSICA. Criação de Um Artefacto Musical Para Manel Cruz*. 2020.
- Sanders, Elizabeth , et al. "Envisioning Futures of Design Education: An Exploratory Workshop with Design Educators." *Dialectic*, vol. 2, no. 1, 9 Aug. 2018, <https://doi.org/10.3998/dialectic.14932326.0002.103>.
- Sanderson, M. G., Teixeira, M., Fontes, N., Silva, S., & Graça, A. (2023). The probability of unprecedented high rainfall in wine regions of northern Portugal. *Climate Services*, 30, 100363. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100363>.
- Schumacher, Patrick. "Parametricism - a New Global Style for Architecture and Urban Design." *AD Architectural Design - Digital Cities*, vol. 79, no. 4, 4 Aug. 2009. <https://www.patrikschumacher.com/index.htm>.
- "Studio Lilian van Daal | Product Design | Biomimicry." *Lilianvandaal New*, www.lilianvandaal.com/.
- "SONOR WINES Beschallte Weine, Sonicated Wines, the Original | SONOR WINES." *Www.sonorwines.com*, www.sonorwines.com/. 2022.
- "'Thirty Three, Poças!', Esculturas Luís Mendonça." *Poças - Produtor Independente de Vinhos DOC Douro E Do Porto*, 23 Dec. 2020, [pocas.pt/thirty-three-pocas-esculturas-luis-mendonca/](https://pocas.pt/thirty-three-pocas-esculturas-luis-mendonca/).
- Tian, Xiaoyong, et al. "Roadmap for Additive Manufacturing: Toward Intellectualization and Industrialization." *Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers*, vol. 1, no. 1, Mar. 2022, p. 100014. <https://doi.org/10.1016/j.cjmeam.2022.100014>.
- Ulrich, Karl T, and Steven D Eppinger. *Product Design and Development*. Boston, Mcgraw-Hill/Irwin, 2004.
- Wang, Yanen, et al. "Applications of Additive Manufacturing (AM) in Sustainable Energy Generation and Battle against COVID-19 Pandemic: The Knowledge Evolution of 3D Printing." *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 60, 1 July 2021, pp. 709–733. [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612521001606](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612521001606), <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.023>.
- Francisco J. G. Silva, António B. Pereira, Raul D. S. G. Campilho. "Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: Establishing Bridges for More Sustainable Manufacturing Systems" Springer, vol. 1: Modern Manufacturing, 18-22 June 2023, Porto, Portugal, pp. 371-379. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-38241-3>

## Figuras, Gráficos e Tabelas

Gráfico 1 - Esquema de metodologias de desenvolvimento. Esquema adaptado, disponibilizado pelo professor Luís Mendonça – Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto.

Gráfico 2 – Organização do processo de Design construído.

Gráfico 3 - Divisão Cronológica das etapas do projeto.

Figura 1 - Diferentes tipos de vinhos do Porto. Wines of Portugal. <https://winesofportugal.com/en/portuguese-wines/wine-styles/vinho-do-porto/>, 2022

Figura 2 a 4 – Fotografias pelo professor Luís Mendonça, IVDP 2016.

Figura 5 e 6 – Fotografia da capa da revista VINHOS e imagem do objeto ExtingWisher utilizada numa das páginas da revista (disponibilizada pelo professor Luís Mendonça).

Figura 7 e 8 – Fotografia da capa da revista UP (TAP Portugal) e imagem do objeto GETfree utilizada numa das páginas da revista (disponibilizada pelo professor Luís Mendonça).

Figura 9 e 10 – Montra de uma loja em Lisboa com a escultura ExtingWisher em exposição e stand de vinhos do Douro de Luís Mendonça. Fotografias fornecidas pelo autor.

Figura 11 – Imagem de três garrafas com diferentes ilustrações animadas através de aplicações de realidade aumentada. Poças. <https://pocas.pt/criatividade-e-inovacao/>, 2022

Figura 12 – Garrafa exposta com fundo iluminado. Espaço Porto Cruz. Vila Nova de Gaia.

Figura 13 e 14 – Montra de vinhos iluminados com diferentes efeitos dependendo da transparência da garrafa e cor do vinho. Real Companhia Velha. Vila Nova de Gaia.

Figura 15 - Lugar de atratividade para captura de fotografias com o logotipo da empresa; SANDEMAN. Vila Nova de Gaia.

Figura 16 a 19 – Escultura na loja das caves do Espaço Porto Cruz. Vila Nova de Gaia.

Figura 20 – Exposição de diferentes garrafas de vinhos e objetos de história. SANDEMAN. Vila Nova de Gaia.

Figura 21 e 22 – Exposição de antiguidades. Real Companhia Velha. Vila Nova de Gaia.

Figura 23 - De cima para baixo: processos formativos; processos subtrativos; processos aditivos. 3D Hubs, The 3D Printing Handbook.

Figura 24 - Variação do preço por peça dos processos formativos, subtrativos e aditivos, com o aumento do número de componentes. 3D Hubs, The 3D Printing Handbook.

Figura 25 - Evolução de modelação para exemplificação da vantagem de utilização do fabrico aditivo.

Tabela 1 - Comparação dos diferentes materiais utilizados em cada uma das tecnologias. Adaptado do livro 3D Hubs, The 3D Printing Handbook.

Figura 26 – Explicação da compressão do filamento de extrusão. 3D Hubs, The 3D printing Handbook.

Figura 27 - Representação de uma peça impressa em diferentes orientações e sujeita à mesma carga de tração. Impressões com orientação de filamentos paralelos à carga exercida, proporcionam um melhor desempenho. 3D Hubs, The 3D printing Handbook.

Figura 28 - Exemplificação do perfil de uma parede com inclinação máxima. Inclinações relativamente à vertical, superiores a 45°, necessitam da criação de material de suporte.

Tabela 2 - Diferentes padrões de enchimento e diferentes aplicações. Adaptado do livro 3D Hubs, The 3D printing Handbook.

Tabela 3 - Tabela adaptada do livro 3D Hubs, The 3D printing Handbook, com os 10 princípios mais importantes a ter em consideração quando se projeta para impressão 3D.

Gráfico 4 - Razões pela procura de implementação de impressão 3D no mercado. R. van der Meulen, J. Rivera. Gartner (2014).

Figura 29 - Superfícies matemáticas concebidas por Bathsheba Grossman e Gyroid, respectivamente. Superfície de Seifert limitada por anéis Borromean (Segerman 2012).

Figura 30 - Exemplo de geometrias obtidas por parametrizações. Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design. 2008.

Figura 31 - SHAPES OF SWEDEN. Lilian van Daal. <https://www.lilianvandaal.com/>, 2022

Figura 32 - SHAPES OF SWEDEN. Lilian van Daal. <https://www.lilianvandaal.com/>, 2022

Figura 33 - BIOMIMICRY. Lilian van Daal. <https://www.lilianvandaal.com/>, 2022

Figura 34 - Gradient Fauteuil. Philipp Aduatz. <https://www.lilianvandaal.com/>, 2022

Figura 35 - Gradient Fauteuil. Philipp Aduatz. <https://www.lilianvandaal.com/>, 2022

Figura 36 - Digital Chaise Longue. Philipp Aduatz. <https://www.philippaduat.com/>, 2022

Figura 37 - Fase de construção - Digital Chaise Longue. Philipp Aduatz. <https://www.philippaduat.com/>, 2022

Figura 38 - Chubby Chair, Dirk Vander Kooji. <https://dirkvanderkooji.com/>, 2022

Figura 39 – Stopstool, Dirk Vander Kooji. <https://dirkvanderkooji.com/>, 2022

Figura 40 - Woven Concrete furniture in Tokyo, XtreeE- The Large-Scale 3D. <https://xtree.com/en/projects/>, 2022

Figura 41 - NOBU. Nagami x Manuel Jiménez García. <https://nagami.design/en/designer/manuel-jimenez-garcia/>, 2022

Figura 42 - ESTRAT. Nagami x Manuel Jiménez García. <https://nagami.design/en/designer/manuel-jimenez-garcia/>, 2022

Figura 43 - Exposição dos nove vinhos usados como fonte de inspiração, Centro de Visitas Poças.

Tabela 4 - Comparação dos recipientes destacados.

Figura 44 - Desenho de comparação dos tamanhos dos recipientes em comparação com uma pessoa com aproximadamente 1.80m de altura.

Figura 45 - Livro 100 ANOS 100 OBJETOS. Emílio Remelhe. João Ferrand. Poças. <https://pocas.pt/>

Figura 46 a 48 - Os seis objetos selecionados. Da esquerda para a direita: Portão da Quinta Das Quartas; Cofre; Licoreira; Máquina de Escrever Portátil; Decanter; Acordeão. Livro 100 ANOS 100 OBJETOS. Emílio Remelhe. João Ferrand. Poças.

- Figura 52 – Brainstorming de procura de ideias.
- Figura 53 – Montagens para geração de ideias através de fontes externas ao conceito.
- Figura 54 – Desenhos de construção inspirados num decanter e P de Poças.
- Figura 55 – Estudo de 9 recipientes em posições diferentes.
- Figura 56 - Desenhos de alguns exemplos visando a utilização de espelhos e geometrias simétricas relativamente à vertical.
- Figura 57 - Representação de ideias em forma de tenaz.
- Figura 58 - Representação de ideias com um recorte em forma de garrafa a escorrer uma gota de vinho.
- Figura 59 - Exemplos de diferentes texturas volumétricas.
- Figura 60 - Exemplo de textura volumétrica em forma de raízes em diferentes posições.
- Figura 61 - Imagem ilustrativa da construção do sistema de vibração utilizado para refinar o vinho. [www.sonorwines.com](http://www.sonorwines.com), 2023
- Figura 62 - Representação tridimensional da incorporação do saxofone nas modelações anteriores.
- Figura 63 - Esquema de ligações utilizado para o funcionamento do sistema de som.
- Figura 64 - Código utilizado para programação do protótipo do sistema de som.
- Figura 65 – Dia de reunião com Manel Cruz. Da esquerda para a direita: Rui Mendonça; Luís Torres; Manel Cruz; Pedro Pintão (Diretor de Marketing e Comunicação Poças).
- Figura 66 e 67 – Evolução da geometria dos saxofones.
- Figura 68 - Evolução da geometria dos saxofones.
- Figura 69 a 73 – Testes de iluminação.
- Figura 74 – Pré-visualização da primeira solução para o sistema de fixação das luzes verticais.
- Figura 75 - Pré-visualização da segunda solução para o sistema de fixação das luzes verticais.
- Figura 76 – Pré-visualização da ideia final, antes de se passar para os testes experimentais.
- Figura 77 – Explosão com os principais componentes de um saxofone completo.
- Figura 78 e 79 - Extrusor CEAD Robot Extruder E25 e braço robô KUKA, KR IONTEC, respetivamente.
- Figura 80 e 81 - Logo das empresas CEAD e KUKA, respetivamente.
- Figura 82 – Robô disponibilizado pelo INEGI.
- Figura 83 - Cabine de controlo CEAD. INEGI. 2022.
- Figura 84 - Secador Vismec DP50 e tubo de transporte. INEGI.
- Figura 85 e 86 - Extrusor CEAD e diferentes bicos de extrusão. INEGI.
- Figura 87 - Mesa de impressão CEAD. INEGI.
- Figura 88 - Simulação do movimento de extrusão do robô, RoboDK.
- Figura 89 - Etapa de identificação dos pontos da base na consola KUKA de mão, de controlo do robô.
- Figura 90 - Ecrã tátil do controlador na cabine de controlo com as respetivas temperaturas dos aquecedores de extrusão.
- Figura 91 – Pré-visualização das peças necessárias para construção.
- Figura 92 - Vista frontal e isométrica do Corpo Principal (CP) com identificação dos maiores problemas previstos.
- Figura 93 - Vista frontal e isométrica da Tampa de Cima (TC).
- Figura 94 - Comparação de duas impressões da mesma peça, uma com uma extrusão de 4 mm do lado esquerdo e outra com 6 mm do lado direito.
- Figura 95 - Primeira Tampa de Cima com extrusão de 10 mm.
- Figura 96 – Defeitos visíveis provocados na superfície exterior do novo CP.
- Figura 97 e 98 – Defeitos no CP antes e após correção.
- Figura 99 – Filamentos defeituosos em camadas com pequenas quantidades de material para ser impresso. Imagem do primeiro CP (tamanho de extrusão de 6 mm).
- Figura 100 a 103 - Evolução de camadas defeituosas, proporcionada pela diminuição de velocidade de extrusão.
- Figura 104 - Vista inferior de uma imperfeição causada pelo extrusor quando salta e deixa um rasto de filamento indesejado.
- Figura 105 e 106 - Defeitos provocados pelo extrusor quando sobe de camada. Ponto de subida localizado e espalho pela superfície, respetivamente.
- Figura 107 e 108 - Evolução do empeno na primeira camada ao longo da construção, na mesma secção.
- Figura 109 e 110 - Momento de colocação de fita cola de dupla face e rede de vedação para aumento da aderência da base do CP.
- Figura 111 e 112 - Defeitos provocados pelo enchimento de 20% com padrão hexagonal na superfície lateral da geometria e cedência das camadas de topo devido ao espaçamento do enchimento utilizado.
- Figura 113 e 114 - Primeira evolução da geometria interior da secção da base.
- Figura 115 e 116 - Vista de corte lateral e de baixo da geometria interior final da secção da base do CP.
- Figura 117 e 118 - Métodos de fixação da primeira camada, agrafos e taxas pregadas na periferia, respetivamente.
- Figura 119 - Primeiro CP completo impresso. Laboratórios de fabrico aditivo. INEGI.
- Figura 120 a 122 - Superfície do primeiro CP após acabamento superficial.
- Figura 123 e 124 – Segundo e terceiro CP, apto para exposição.
- Figura 125 e 126 – Evolução da construção de uma Tampa de Cima (TC).
- Figura 127 e 128 – Evolução da construção de uma Boca do Som (BS).
- Figura 129 e 130 – Evolução das Tampas de Cima (TCs).
- Figura 131 – Exemplo de imperfeições na base do CP.
- Figura 132 a 134 – Primeiro saxofone completo com um recipiente com vinho. Composto por: Corpo Principal; Tampa de Cima e Boca de Som.

Figura 135 e 136 - Pedra de plombagina e pó de grafite, respetivamente.

Figura 137 - Tampas de Cima pintadas com pó de grafite à esquerda e tinta sintética à direita.

Figura 138 e 139 – Pintura final de peças BS e CPs antes da exposição no Centro de Visitas da Poças.

Figura 140 e 141 – Pré-visualização da parede de suporte das luzes verticais.

Figura 142 a 145 – Etapas de construção da Parede Vertical.

Tabela 5 – Componentes utilizados para a construção do Sistema Musical.

Figura 146 – Esquema de ligação de componentes eletrónicos. A BLACKBOX

corresponde ao lugar dos componentes projetados para serem colocados numa sala paralela.

Figura 147 – Momento de colocação dos cabos de ligação entre os componentes do corredor de visitas e a sala paralela.

Figura 148 – Momento de instalação das colunas e sensores na boca do saxofone e ligação das luzes que seriam colocadas por baixo dos recipientes com vinho.

Figura 149 e 150 – Fotografia próxima da instalação dos sensores, colunas e pano para impedir a visualização dos componentes eletrónicos durante a experiência.

Figura 151 – Instalação dos componentes principais de funcionamento do sistema de som. Sala paralela ao corredor de visitas.

Figura 152 – Instalação de todos os saxofones antes da colocação dos recipientes com vinho.

Figura 153 e 154 – Tampas de cortiça construídas.

Figura 155 – Momento de colocação dos primeiros recipientes com vinho e teste do funcionamento dos sensores.

Figura 156 a 158 – Vistas Frontal, Lateral e de Cima do Conjunto Completo.

Figura 159 e 160 – Vistas isométricas do Conjunto Completo.

Figura 161 a 169 – Fotografias finais do artefacto para exposição.



SEDE ADMINISTRATIVA

FACULDADE DE **BELAS ARTES**

FACULDADE DE **ENGENHARIA**

