

Solução frugal para tratamento de água

Sérgio Henriques Santos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão industrial

Orientadora: Prof. Ana Isabel Cerqueira de Sousa Gouveia Carvalho

Júri

Presidente: Prof. Tânia Rute Xavier de Matos Pinto Varela

Orientadora: Prof. Ana Isabel Cerqueira de Sousa Gouveia Carvalho

Vogais: Prof. António Miguel Areias Dias Amaral

Setembro 2021

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Declaration

I declare that this document is an original work of my own authorship and that it fulfils all the requirements of the Code of Conduct and Good Practices of the Universidade de Lisboa

Resumo

A recente diminuição de recursos de água doce e o conseqüente aumento de escassez de água, principalmente em países em desenvolvimento, tem-se revelado uma problemática alarmante e crescente, implicando graves problemas para a saúde humana. A utilização de tecnologias de purificação de água no ponto de uso pode revelar-se muito útil. No entanto, este tipo de tecnologias não se adequa ainda, à data, aos mercados mais necessitados, quer por falta de financiamento, de meios de distribuição ou de infraestruturas indicadas para a sua produção, pelo que se torna fundamental o desenvolvimento de ideias inovadoras, acessíveis e sustentáveis.

O conceito da inovação frugal apresenta-se como uma revolução sustentável que promove o desenvolvimento de produtos e serviços em consonância com a preservação do ecossistema natural e das necessidades sociais. Esta estratégia satisfaz as necessidades básicas da procura, possibilitando a utilização dos recursos naturais de uma forma mais sustentável.

Neste contexto, o presente trabalho centra-se na compreensão do design do produto, das várias tecnologias de purificação, e na conseqüente elaboração de um protótipo tendo em vista a futura construção de um purificador de água acessível, cujo processo de produção é maioritariamente local e artesanal.

Esta dissertação alcança três grandes objetivos: uma extensa revisão bibliográfica, uma metodologia com orientações para o desenvolvimento do produto e, resultados e outras recomendações. A literatura é uma base de referência para os métodos propostos na metodologia e através da sua aplicação são obtidos os resultados.

Palavras-Chave: Tecnologias de purificação, Design do produto, Inovação frugal, Produção local e artesanal.

Abstract

The recent depletion of freshwater resources and the consequent increase in water scarcity, especially in developing countries, has proven to be an alarming and growing problem, entailing serious problems for human health. The use of point-of-use water purification technologies can prove to be very useful. However, this type of technology is not yet suitable for the neediest markets, either because of lack of funding, lack of distribution means, or lack of suitable infrastructure for its production, so the development of innovative, affordable, and sustainable ideas is essential.

The concept of frugal innovation presents itself as a sustainable revolution that promotes the development of products and services in line with the preservation of the natural ecosystem and social needs. This strategy meets the basic needs of the demand, enabling the use of natural resources in a more sustainable way.

In this context, the present work focuses on understanding the product design, the various purification technologies, and the consequent elaboration of a prototype with a view to the future construction of an affordable water purifier, whose production process is mostly local and handmade.

This dissertation achieves three major goals: an extensive literature review, a methodology with guidelines for product development, and results and further recommendations. The literature is a reference base for the methods proposed in the methodology and, through its application, the results are obtained.

Keywords: Purification technologies, Product design, Frugal innovation, Local and handmade production.

Agradecimentos

Depois de uma longa caminhada na realização da presente dissertação, não poderia de forma alguma, prosseguir sem aproveitar a oportunidade para agradecer a todos aqueles que de algum modo contribuíram para a sua concretização.

À minha orientadora, a Professora Ana Carvalho, pelo seu apoio incondicional e permanente dedicação. Durante este percurso, nem sempre fácil, conseguiu com que nunca me sentisse sozinho com as suas palavras de compreensão, motivação e orientação. Obrigado, não só por toda ajuda na dissertação, mas também pela sinceridade, confiança e por todos os ensinamentos que levarei comigo no futuro.

A todos os colegas, com quem privei durante a minha formação. Em especial aos que se tornaram meus amigos, que conviveram comigo nos melhores anos da minha vida e que me acompanham sempre tolerantes e bem-dispostos.

Aos meus pais pelo apoio incondicional, pela educação que me deram e por todos os sacrifícios que fizeram ao longo dos anos para que eu me pudesse dedicar aos estudos sem preocupações.

Ao meu irmão Dinis, pela partilha de tantos e tantos momentos de alegria e amizade que ajudaram a tornar tudo mais fácil, e por acreditar em mim incondicionalmente e me fazer seguir em frente sempre confiante e sem receios.

Por último, ao meu irmão Tiago, a minha estrelinha no céu, por tudo o que me ensinou, por tudo o que me deu, por tudo o que me transmitiu e por toda a força e inspiração que continua a dar dia após dia.

Índice

Resumo.....	ii
Abstract	iii
Agradecimentos	iv
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas	viii
Lista de Acrónimos	ix
1. Introdução	1
1.1. Contextualização do problema	1
1.2. Objetivos da Dissertação.....	2
1.3. Estrutura da Dissertação	2
2. Contextualização para caracterização do problema	4
2.1. A indústria da água.....	4
2.1.1. O estado da água no mundo	4
2.1.2. Abastecimento de água, saneamento e saúde	5
2.2. Purificação de água	8
2.2.1. Tecnologias de purificação de água domésticas	8
2.2.2. Tecnologias de purificação no ponto de uso.....	9
2.3 Caracterização do problema	14
2.4 Conclusões do capítulo	15
3. Estado de Arte	15
3.1 Design do produto.....	16
3.1.1 Definição de design do produto	16
3.1.2 Dimensões do design do produto	17
3.1.3 Etapas do Design do Produto	19
3.1.4 Design para “X”	20
3.1.4 Eco design.....	21
3.2 Inovação frugal.....	22
3.2.1 Definição	22
3.2.2 Características da inovação frugal.....	24
3.2.3 Mercados e sectores da inovação frugal.....	26
3.2.4 Inovação frugal no sector da água	27
3.3 Conclusões do capítulo	28
4. Metodologia	29
5. Análise e discussão de resultados	36
5.1. Criação do conceito.....	36

5.2. Proposta de solução	38
5.3 Design	46
5.3.1 Criação de um protótipo virtual	46
5.3.2 Processo de produção	48
5.4 Avaliação e melhoria do design.....	53
5.4.1 Grupo focal.....	53
5.5 Modelo de Negócios	54
6. Conclusões finais	58
7.Bibliografia	60

Lista de Figuras

Figura 1: Proporção de água consumida por setor de atividade no Mundo, na Europa e em Portugal (adaptado de FAO, 2020 e APA, 2015).....	5
Figura 2: Percentagem (%) de população com acesso a serviços básicos de água e saneamento em 2017, por região do mundo e em Portugal (adaptado de WHO, 2019 e APA, 2015)	6
Figura 3: Mercado global dos filtros de água domésticos, por região, 2017 (adaptado de marketresearch, 2019)	8
Figura 4: Gráfico hierárquico que descreve o esquema de classificação de tecnologias purificadoras	9
Figura 5: Filtro LifeStraw	122
Figura 6: Filtro Unilever's Pureit.....	12
Figura 7: Filtro Sawyer Mini.....	12
Figura 8: Filtro Tata Swach	13
Figura 9: Filtro Big Berkey	13
Figura 10: Filtro MSR TrailShot.....	13
Figura 11: Filtro Ultralight Bottle.....	13
Figura 12: Representação do impacto das decisões no processo do design no produto ao longo do ciclo de vida.....	20
Figura 13: Áreas do Eco Design de acordo com Li et al. (2014)	22
Figura 14: Proposta de metodologia	29
Figura 15: Estrutura de uma árvore de problemas (Cohen e Martínez, 2004)	30
Figura 16: Representação de uma matriz de Pugh (Unleach, 2019).....	32
Figura 17: Nível económico do Business Model Canvas	35
Figura 18: Nível social do Business Model Canvas	35
Figura 19: Nível ambiental do Business Model Canvas	35
Figura 20: Árvore de Problema	36
Figura 21: Design 1 do purificador	46
Figura 22: Design 2 do purificador	47
Figura 23: Design final do purificador	48
Figura 24: Vista explodida dos componentes que constituem o purificador	49
Figura 25: Diagrama de fluxo de processo de produção do purificador	49
Figura 26: Etapas do processo de fabrico da garrafa	50
Figura 27: Etapas do processo de fabrico do filtro de carvão ativado	50
Figura 28: Etapas do processo de fabrico do filtro de cerâmica	51

Lista de Tabelas

Tabela 1: Revisão de literatura sobre a Definição de Design do Produto	15
Tabela 2: Revisão de literatura sobre as dimensões do design do produto (adaptada de Chen, 2018)	18
Tabela 3: Revisão da literatura acerca de definição de inovação frugal	23
Tabela 4: Distribuição dos casos de inovações frugais por setor (adaptado de Hossain,2016) 27	
Tabela 5: Relação entre critério de seleção e os princípios da frugalidade	38
Tabela 6: Ordenação dos critérios por importância	41
Tabela 7: Ponderação do critérios	42
Tabela 8: Matriz de Pugh	44
Tabela 9: Contaminantes filtrados pelas várias tecnologias	45
Tabela 10: Nível económico do modelo de negócios	54
Tabela 11: Nível ambiental do modelo de negócios	55
Tabela 12: Nível social modelo de negócios.....	56
Tabela 13: Tabela de preços das diferentes matérias primas	57

Lista de Acrónimos

ONG: Organização não governamental

EIF: Exemplos de Inovação Frugal

PdU: Ponto de uso

PdE: Ponto de Entrada

PD: Países desenvolvidos

PED: Países em desenvolvimento

TPA: Tecnologias de purificação de água

DfX: Design para “X”

ED: Eco design

1. Introdução

O presente capítulo introduz a dissertação de mestrado e está dividido em três secções. A secção 1.1 contextualiza o problema abordado no projeto. A secção 1.2 apresenta os objetivos propostos a alcançar na dissertação de mestrado e a secção 1.3 encerra o capítulo com uma breve descrição da estrutura do projeto.

1.1. Contextualização do problema

O acesso à água potável segura é uma necessidade elementar e um direito humano fundamental. Nos países em desenvolvimento, o consumo de água tem aumentado devido à combinação de crescimento populacional, desenvolvimento socioeconómico, evolução dos padrões de consumo e expansão da agricultura irrigada (UNESCO, 2016). Em contrapartida, devido às secas frequentes e intensivas, impulsionadas pelas alterações climáticas, os stocks de recursos de água doce têm diminuído significativamente (IPCC, 2014). Deste modo, um número considerável de pessoas, sobretudo em países em desenvolvimento, não tem acesso a fontes de água adequadas ou microbiologicamente seguras para beber (Peter-Varbanets et al., 2009). Inevitavelmente, muitas dessas pessoas vivem em situações de pobreza extrema e vêm-se obrigadas a consumir água diretamente de fontes naturais como rios e lagos, o que representa um elevado risco para a saúde e pode causar doenças fatais como a hepatite, febre tifoide, cólera ou diarreia (Werber et al., 2016).

A escassez de água doce está a tornar-se uma ameaça ao desenvolvimento sustentável da sociedade humana, e a gravidade dos problemas hídricos globais foi claramente evidenciada no recente relatório de avaliação de risco do Fórum Económico Mundial: a crise hídrica representa a maior ameaça para a humanidade na próxima década (WEF, 2015).

Nos últimos anos, muitas organizações não governamentais têm sensibilizado para esta questão problemática e apelado a um esforço coordenado global na tentativa de encontrar soluções viáveis que minimizem as suas consequências.

As tecnologias de purificação de água podem ser uma boa solução e estas devem ser inovadoras, eficazes, sustentáveis, de baixo custo e socialmente aceites para que possam ter sucesso nos mercados em desenvolvimento (Mara, 2003).

A atual dissertação tem como objetivo desenvolver um estudo prévio e um protótipo virtual que suportem a futura construção de um produto deste género para que possa ser útil na resolução da problemática referida anteriormente. O processo de criação deste protótipo irá considerar as principais práticas utilizadas no Design do Produto que se concentram na construção de produtos sustentáveis. Além disso, será desenvolvido dentro duma ótica da inovação frugal. As inovações frugais são produtos ou serviços simples que satisfazem os requisitos dos clientes, minimizando custos e recursos. Procuram servir os países emergentes com produtos bons a preços acessíveis, desenvolvidos sob restrições mais rigorosas de modo a proporcionar valor económico, ambiental e social. Para uma melhor compreensão dos conceitos a explorar e a utilizar, foi realizada uma investigação adequada nos capítulos seguintes.

1.2. Objetivos da Dissertação

O objetivo final desta dissertação é desenvolver um protótipo virtual e um processo de montagem local que suporte a futura construção de um produto acessível. O objetivo deste produto é reduzir a escassez de água em zonas remotas de países em desenvolvimento e conseqüentemente melhorar o nível de vida dos seus utilizadores. Este objetivo principal será atingido com a concretização de duas partes da presente dissertação. A primeira parte tem três objetivos principais que são essenciais para o desenvolvimento da metodologia necessária para concluir esta dissertação:

- Introduzir adequadamente, contextualizar e caracterizar o problema da escassez de água sobretudo nos países em desenvolvimento, perceber as suas conseqüências, e estudar a alternativa das tecnologias purificadoras de água;
- Elaborar uma revisão de literatura científica abrangente de modo a compreender melhor o Design do produto e a Inovação frugal;
- Contextualizar, no âmbito da revisão bibliográfica realizada, a metodologia mais adequada a adotar nos próximos capítulos para atingir o objetivo final do trabalho.

O objetivo da segunda parte é aplicar a metodologia proposta e alcançar os seguintes objetivos:

- Investigar o âmbito do problema, o design, os componentes e o processo de produção do produto;
- Executar um protótipo virtual com as tecnologias estudada;
- Analisar o mercado da aceitação do produto e orientações para o seu melhoramento e melhor introdução no mercado em desenvolvimento.

1.3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizado em seis capítulos:

- **Capítulo 1 – Introdução**
Corresponde ao presente capítulo, e introduz brevemente o tema do estudo, destaca os principais objetivos a serem alcançados e delinea a estrutura do próprio trabalho.
- **Capítulo 2 – Contextualização para caracterização do problema**
O problema é contextualizado, apresentando a tendência atual para a escassez de água potável nos países em desenvolvimento e as conseqüências que isso pode trazer para a saúde humana. Segue-se uma análise sobre os tipos de tecnologias de purificação de água no ponto de uso que podem vir a ser uteis.
- **Capítulo 3 – Estado de arte**
É apresentada uma revisão de literatura relativa ao Design do produto e inovação frugal. Vários documentos relevantes são analisados e a informação recolhida é organizada e

compilada numa abordagem mais atrativa e sólida, a fim de facilitar o desenvolvimento de trabalhos futuros.

- **Capítulo 4 – Metodologia**

É introduzido um modelo esquemático com as principais etapas da metodologia. Além disso, é introduzido um extenso metodologia com diretrizes detalhadas, métodos e processos diferentes a aplicar em cada passo, juntamente com uma base teórica.

- **Capítulo 5 – Análise e discussão de resultados**

Os resultados de todas as etapas indicadas na metodologia são apresentados nesta secção. Juntamente com a apresentação dos resultados obtidos em cada etapa, é fornecida uma breve discussão dos mesmos.

- **Capítulo 6 – Conclusões e recomendações futuras**

Esta secção final apresenta as principais conclusões tiradas e recomendações futuras, de forma a dar continuidade aos desenvolvimentos alcançados na presente dissertação.

2. Contextualização para caracterização do problema

O objetivo do presente capítulo prende-se com a apresentação de uma breve contextualização do problema em estudo, fornecendo algumas bases fundamentais para a realização do trabalho que será desenvolvido na futura dissertação. O capítulo está dividido em três secções. Na secção 2.1 é apresentada uma visão geral da indústria da água e qual o estado da água potável e saneamento básico no mundo atual. Na secção 2.2 é analisado o mercado das tecnologias de purificação de água no ponto de uso, onde são apresentadas as diversas tecnologias existentes e também os vários produtos disponíveis no mercado. A secção 2.3 apresenta a caracterização do problema e por último a secção 2.4 resume as principais conclusões do capítulo.

2.1. A indústria da água

2.1.1. O estado da água no mundo

A água é uma substância inorgânica, transparente, insípida, inodora e quase incolor, cujas moléculas são constituídas por dois átomos de hidrogénio (H) e um de oxigénio (O), sendo a sua fórmula química H_2O . As mudanças de temperatura e pressão atmosférica, permitem a sua existência na terra nos três estados físicos principais: sólido, líquido e gasoso (Zumdahl, 2020).

Mais de 70% da superfície terrestre é coberta por água, e cerca de 97% dessa água encontra-se nos oceanos e é demasiado salgada para se beber. Somente 3% é doce, sendo que uma grande parte dessa água (2,5%) se encontra indisponível para consumo humano, uma vez que está retida em glaciares, icebergs ou no solo a uma profundidade demasiado elevada para que possa ser extraída a um custo aceitável (USBR, 2020). Deste modo, apenas 0,5% da água do nosso planeta é própria para consumo humano e para satisfazer as necessidades dos ecossistemas terrestres, podendo esta ser encontrada em rios, lagos, lagoas, pântanos, solos ou na atmosfera (USBR, 2020).

A distribuição da água doce pelo mundo é bastante irregular pois cerca de dez países possuem mais de 60% dos recursos disponíveis. Mesmo dentro de um país a disponibilidade de água pode variar, com a existência de zonas muito húmidas e outras muito secas. Para além disso, as variações da precipitação e a ocorrência de fenómenos extremos como secas ou cheias, podem originar uma discrepância elevada entre a procura e disponibilidade de água em períodos específicos do ano (CNA, 2020).

A **Figura 1** mostra como o setor agrícola (incluindo irrigação, pecuária e aquacultura, é de longe o maior consumidor de água, sendo responsável pela utilização de 69% da água a nível mundial. A indústria (incluindo a produção de energia) representa 19% e o abastecimento aos agregados familiares apenas 12% (FAO, 2020). Na Europa, a indústria é área onde a água é mais utilizada, sendo que as duas restantes áreas apresentam valores muito parecidos perto dos 22%. Já em Portugal, 75% da água é utilizada na agricultura, 15% no abastecimento da população e apenas 5% na indústria (APA, 2015).

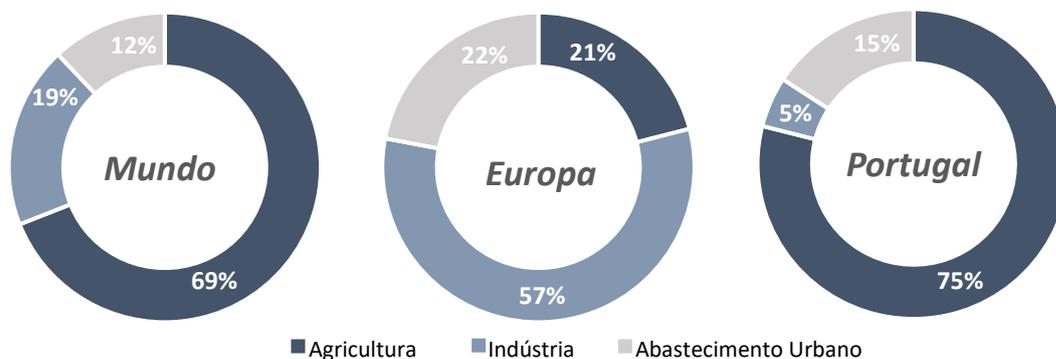


Figura 1: Proporção de água consumida por setor de atividade no Mundo, na Europa e em Portugal (adaptado de FAO, 2020 e APA, 2015)

O consumo de água tem vindo a aumentar cerca de 1% por ano a nível mundial desde os anos 80 (UNRIC, 2020) devido ao crescimento populacional, desenvolvimento socioeconómico, evolução dos padrões de consumo e à expansão da agricultura irrigada (UNESCO, 2016). Consequentemente, os stocks de recursos de água doce têm diminuído significativamente (IPCC, 2014).

Com uma procura cada vez maior é evidente que com o passar dos anos a escassez de água doce se esteja a tornar uma ameaça ao desenvolvimento sustentável da sociedade humana, e as crises hídricas têm vindo a revelar-se uma grande preocupação num futuro próximo (Doungmanee, 2016) sendo apontadas como o maior risco global em termos de potencial impacto (WEF, 2015). De acordo com Chakraborti et al. (2019) a escassez de água pode ser definida como o ponto em que a necessidade de água para os diversos sectores não consegue ser totalmente satisfeita, ou quando há uma falta de acesso à água potável, sendo este um bem essencial para as necessidades humanas. Ainda de acordo com o autor, as principais razões dessa escassez são as alterações climáticas, o uso excessivo e ineficiente dos recursos de água disponíveis e o aumento da poluição.

Por todo o mundo, cerca de 1,2 biliões de pessoas vivem atualmente em regiões afetadas pela escassez física de água e cerca de 1,6 biliões enfrentam escassez económica de água, uma vez que os seus países não possuem infraestruturas ou tecnologias adequadas para retirar água das fontes existentes (Amarsinghe e Sharma, 2009; Sharma e Bharat, 2009).

A má qualidade da água tem sido também uma limitação, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento, e originam a perda de corpos de água de qualidade impecável, o aumento dos poluentes emergentes e a propagação de espécies invasoras (UN, 2018). Essa água contaminada aumenta os riscos para a saúde e várias doenças relacionadas com a água continuam a ser frequentes em muitos países, onde apenas uma pequena fração das águas residuais domésticas e urbanas é tratada antes da sua libertação para o ambiente (UNESCO, 2016).

2.1.2. Abastecimento de água, saneamento e saúde

O consumo de água potável é uma necessidade elementar para uma vida saudável e acima de tudo um direito humano, mas ainda assim cerca de 785 milhões de pessoas, sobretudo em zonas

rurais menos desenvolvidas, não têm acesso a água com garantia de qualidade (Water.org¹, 2017). Um quinto destas acabam recolher água potável não tratada (e frequentemente contaminada) diretamente de rios ou lagos, sendo que mais de metade delas vivem na África Subsaariana (WHO, 2019).

A falta de saneamento de águas residuais adequado é outro dos problemas existentes nessas zonas, e as lacunas associadas a esse sistema acabam por originar a poluição das águas e promover a propagação de bactérias, vírus e outros organismos perigosos para a saúde humana. Cerca de 2,3 bilhões de pessoas não possuem sequer um serviço de saneamento básico, dos quais 892 milhões ainda praticam defecação a céu aberto (WHO, 2019). Quase um milhão de pessoas morre anualmente com doenças infecciosas fatais, tais como febre tifoide, diarreia, cólera e hepatite, relacionadas com a falta de qualidade da água ou do saneamento (Water.org¹, 2017). A **Figura 2** apresenta os valores referentes às percentagens das populações de diversas zonas do mundo que têm acesso a serviços de água e saneamento básicos.

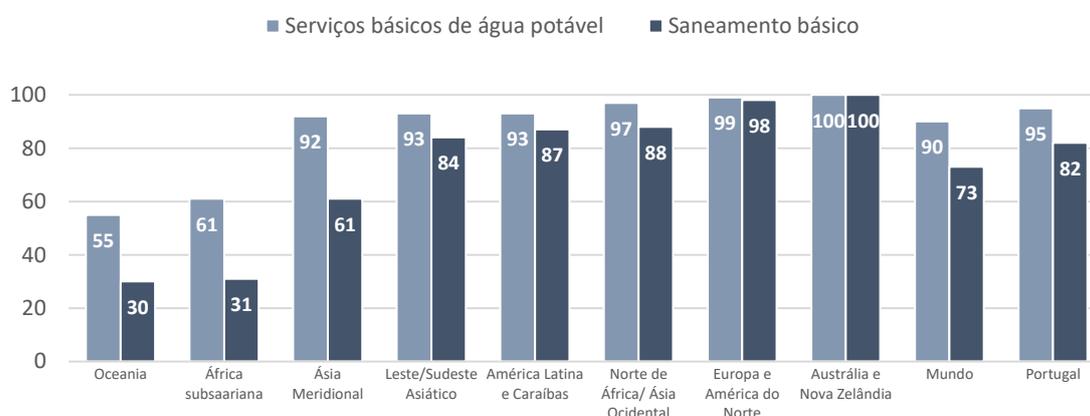


Figura 2: Percentagem (%) de população com acesso a serviços básicos de água e saneamento em 2017, por região do mundo e em Portugal (adaptado de WHO, 2019 e APA, 2015)

Sensivelmente 10% da população global ainda não tem acesso a serviços básicos de água potável, e 27% não tem acesso ao saneamento básico. Ainda assim, desde 2000 estes valores tiveram uma diminuição de 8ppt e 17ppt respetivamente (WHO, 2019). Em Portugal 95% e 82% da população têm acesso a água potável e saneamento, respetivamente. Existe uma grande diferença entre os países em desenvolvimento e os países desenvolvidos, e nestes últimos o cenário é mais difícil. Cerca de 40% das suas populações não têm acesso à água potável e/ou saneamento básico, e apesar de todos os esforços, estima-se que esse número aumente ainda mais no futuro (UN, 2015). Estes serviços básicos estão diretamente relacionados com a esperança média de vida e com a taxa de mortalidade, principalmente infantil. Estima-se que todos os anos, milhares de crianças morram de causas que podiam ser evitadas ou que tinham tratamento, como complicações durante o parto ou diarreia, sendo esta a terceira principal causa de morte infantil. A grande maioria dessas mortes ocorre nos cinco primeiros anos de vida, e os recém-nascidos representam metade das mortes. Estas estão relacionadas com a falta de condições higiénicas, associadas na grande maioria à falta de água ou saneamento, nos países

¹ Water.org (2017). The water crisis. Disponível em: <https://water.org/our-impact/water-crisis/>. Acedido a 29/10/2020.

em desenvolvimento (WHO, 2019). Mais de vinte doenças infecciosas estão relacionadas com a qualidade da água “potável” e os principais riscos da água estão associados à poluição microbiana (Peter-Varbanets et al., 2009). A água atua como um portador passivo dos agentes patogénicos infetantes, e a sua utilização para beber e cozinhar, bem como o contacto com a mesma durante o banho, ou mesmo a inalação de pequenas gotas sob a forma de aerossóis, pode promover a transmissão de doenças como a cólera, tifoide, hepatite infecciosa, diarreia, gastroenterite e outras infeções graves (Arnal et al., 2009). A maior parte destas devem-se à contaminação da fonte de água (por vírus, fungos, bactérias, protozoários ou larvas) e à falta de condições sanitárias.

Nos países em desenvolvimento, os métodos de purificação de água raramente são utilizados e mesmo quando o são, a sua eficácia não é muito elevada. Atualmente, o método mais usado nesses países consiste em ferver a água. No entanto, dada a elevada necessidade de energia para a ebulição e a acessibilidade limitada de fontes de energia, na maior parte das vezes o tratamento térmico não acontece. O consumo de água não tratada causa uma elevada taxa de infeções que, embora não sejam graves na maioria dos casos, foram por vezes a causa de grandes epidemias (Peter-Varbanets et al., 2009).

Em alguns casos, a presença de matéria em suspensão na água causa turbidez coloidal e interfere na sua desinfeção, pois essa matéria pode conter microrganismos que dificultam a ação do agente desinfetante (principalmente cloro gasoso e hipoclorito) e estimulam o crescimento bacteriano (Peter-Varbanets et al., 2009). Esta é uma das razões pela qual a cloração de esgotos sanitários tem efeitos bastante limitados. Os arsenietos e fluoreto estão entre os poluentes químicos mais conhecidos que surgem naturalmente na água e as suas concentrações máximas aceitáveis são 10 mg/l e 1,5 mg/l, respetivamente. No entanto, em algumas zonas problemáticas, as suas concentrações na água potável são bastante elevadas e podem levar a doenças de pele, cancro, ou doenças incapacitantes (fluorose esquelética) (Meenakshi e Maheshwari, 2006).

Apesar de ser frequentemente negligenciada, a agricultura é um setor muito prejudicial à qualidade da água e estima-se que aproximadamente 3 milhões de pessoas sofram de envenenamento por pesticidas por ano, resultando num total de 220.000 mortes (Jaga e Dharmani, 2003). A poluição da água é diferente nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. No que diz respeito à qualidade da água, a contaminação química antropogénica da água potável é considerada uma ameaça mais significativa para a saúde humana nos países desenvolvidos, apesar dos riscos serem relativamente mais baixos. Por outro lado, nos países em desenvolvimento a contaminação microbiana do abastecimento de água é o principal risco, e essa continua a ser umas das ameaças predominantes à saúde humana (Jaga e Dharmani, 2003). Nos últimos anos, a ONU tem sensibilizado mais esforços para esta questão problemática, de modo a que as principais preocupações de saúde nos países em desenvolvimento sejam aliviadas. Para tal, são necessárias tecnologias de baixo custo, inovadoras, sustentáveis e eficazes que sejam capazes de fornecer água potável às pessoas, e consequentemente, um estilo de vida mais higiénico (Ahmad e Azam, 2019). Há uma necessidade cada vez maior de nos concentrarmos nas fontes de água contaminada com

resíduos, e realizar esforços para tratar esses recursos. O objetivo é reduzir o risco de doenças transmitidas por este bem essencial, e para isso existem diferentes métodos de tratamento da água que podem ser utilizados para a sua purificação. No entanto, nos países em desenvolvimento, estes métodos são altamente instáveis devido à reduzida disponibilidade de recursos financeiros e tecnológicos. Assim, os métodos devem ser adaptados à sua realidade, de modo a garantir os limites de segurança de vários parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água presente nos recursos hídricos disponíveis. (Bain et al., 2014).

2.2. Purificação de água

2.2.1. Tecnologias de purificação de água domésticas

O aumento da população mundial e o rápido avanço da industrialização resultou na contaminação dos corpos de água, que fez com que os reservatórios de água doce quase esgotassem e consecutivamente muitas pessoas deixassem de ter acesso a água potável (Dimkov, 2018). Nas zonas rurais devido à dispersão da população, as fontes ou mecanismos de abastecimento de água são geralmente descentralizados, sob a forma de poços escavados ou bombas de água manuais. Mesmo em zonas urbanas, apesar da existência de sistemas de abastecimento de água centralizados, as comunidades podem não ter acesso a tais serviços ou o abastecimento através desses pode ser propenso à contaminação (Venkatesha, 2020). Nestes cenários, as tecnologias de purificação de água domésticas podem vir a tornar-se bastante úteis. Estas tecnologias são equipamentos com a capacidade de remoção ou redução da concentração de partículas, parasitas, bactérias, algas, vírus, fungos, e outros contaminantes químicos ou biológicos indesejáveis da água contaminada, de modo a torná-la segura e saudável para o consumo humano ou outros fins específicos (Kellie, 2016).

A crescente consciencialização por parte de organizações como a OMS e a UNICEF sobre as doenças causadas pela falta de água potável ou saneamento, tem feito com que a procura por este tipo de tecnologias no mercado global tenha aumentado (MRF, 2019). Numa perspetiva regional, e como ilustrado na **Figura 3**, o mercado global destas tecnologias tem sido segmentado em América do Norte, Europa, Ásia-Pacífico e Resto do Mundo, onde estão incluídos a América do Sul, Médio Oriente e África.

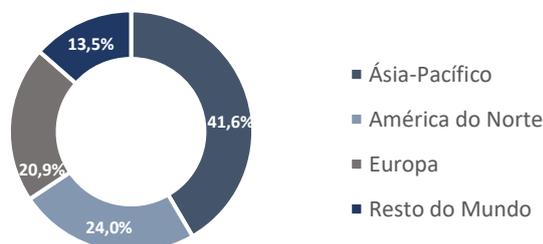


Figura 3: Mercado global dos filtros de água domésticos, por região, 2017 (adaptado de marketresearchfuture, 2019)

Em 2017, a Ásia-Pacífico dominou o mercado e apresentava uma quota de 41,56%, para a qual a China e a Índia foram os países que mais contribuíram. A elevada densidade populacional, o crescimento da economia e a sensibilização foram os principais fatores impulsionadores. A

América do Norte representa a segunda maior quota. Na Europa, a Alemanha e o Reino Unido foram os mais intervenientes no mercado (MRF, 2019).

Os dois tipos de sistemas de purificação de água domésticos mais utilizados para melhorar a qualidade da água são: Sistema no Ponto de Entrada (PdE) e Sistema no Ponto de uso (PdU) (Reynolds, 2008). O sistema PdE é instalado na fonte de água principal e assegura que toda a água que entra na casa é tratada antes de ser utilizada, distribuindo-a posteriormente para as diversas saídas tais como máquinas de lavar, chuveiros, lavatórios e torneiras. Esta tecnologia pode tratar vários milhares de litros de água por dia e tem a capacidade de remover odores, sabores e quaisquer outros contaminantes, produzindo água adequada para o uso quotidiano. É uma solução durável e livre de grandes manutenções, que necessita apenas de substituições de filtro a cada 5-7 anos. No entanto, este sistema não é ideal para produzir água pura de qualidade, adequada para beber (APEC, 2017).

Os sistemas PdU podem ser usados em fontes de água específicos para produzir água potável purificada de alta qualidade. Estes sistemas têm uma menor capacidade comparativamente aos PdE, mas removem até 99.9% de qualquer contaminante da água. São mais pequenos, fáceis de instalar e utilizar e têm a vantagem da grande maioria ser portátil ou facilmente transportado (APEC, 2017). A sua eficiência e acessibilidade, fazem com que seja o tipo de tecnologia de purificação ideal para mercados rurais, emergentes ou em desenvolvimento (TMR, 2019) e por isso uma análise mais detalhada sobre esse tipo de tecnologia será realizada na secção seguinte.

2.2.2. Tecnologias de purificação no ponto de uso

Nos dias de hoje, existem no mercado inúmeros tipos de filtros de água no ponto de uso com a capacidade de purificar a água contaminada, cada um com as suas próprias vantagens e desvantagens, consoante as necessidades, pois a qualidade da água não é sempre igual e os contaminantes ou as substâncias tóxicas nela presentes podem ser distintos (The Berkey, 2019).

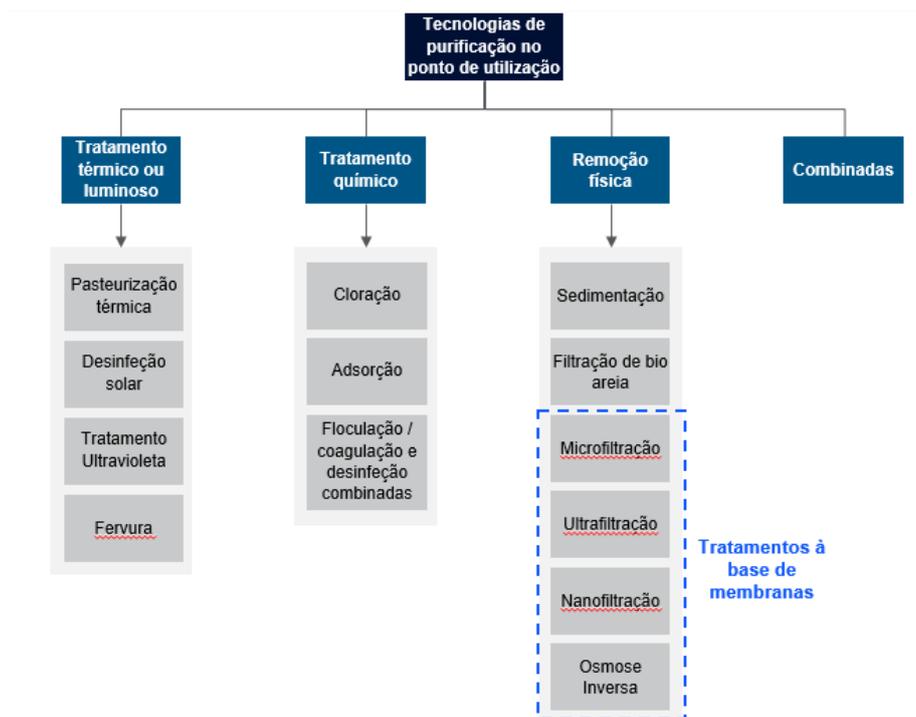


Figura 4: Gráfico hierárquico que descreve o esquema de classificação de tecnologias purificadoras

A **figura 4** mostra os diversos tipos de tecnologias purificadoras de água no ponto de utilização que se encontram divididas em quatro tipos: (i) técnicas de tratamento térmico ou luminoso, (ii) tratamento químico, (iii) remoção física e (iv) purificação de água combinada, que combina várias técnicas de tratamento. Com base nos trabalhos desenvolvidos por Peter-Varbanets et al. (2009) e Loo et al. (2012) foi possível realizar uma breve descrição das várias tecnologias de purificação:

(i) Tecnologias que envolvem tratamento térmico ou à base de luz

Pasteurização térmica

A pasteurização térmica é um sistema simples que consiste apenas no aquecimento da água a temperaturas perto dos 75° C (Gupta et al., 2008). Pode remover vírus, e consegue um elevado caudal de água purificada num curto espaço de tempo, sem grandes custos operacionais. É um equipamento frágil e difícil de utilizar/ manusear e não proporciona proteção residual (Loo et al., 2012).

Desinfecção solar

Na desinfecção solar a água é colocada em garrafas de Politereftalato de etileno (PET) e mantida sob a luz solar, apresentando um baixo custo operacional envolvido devido a grande disponibilidade de garrafas PET (Peter-Varbanets et al., 2009). Apresenta uma redução documentada de doenças diarreicas devido à eliminação de bactérias, mas não trata a turbidez da água. No entanto a sua eficácia por ser afetada pela temperatura do meio ambiente e o tempo de tratamento pode ser bastante longo (Venkatesha, 2020).

Fervura

A fervura é o método mais antigo de purificação da água (Sobsey, 2002) e consiste pura e simplesmente em ferver a água, eliminando agentes patogénicos, micro-organismos e protozoários (Loo et al., 2012). No entanto acaba por ter muitas desvantagens, pois não consegue remover produtos químicos e vírus, pode alterar o sabor da água e apresenta um elevado consumo energético/combustível. Para além disso, a água fervida deve ser consumida de preferência em 24 h (Lantagne e Clasen, 2009).

Tratamento Ultravioleta

No tratamento ultravioleta a água é exposta a radiações UV que conseguem matar bactérias e vírus. No entanto os germes continuam na água apesar de mortos pois não existe proteção residual. Possui um custo elevado de operação e manutenção e geralmente dependem de energia elétrica (Venkatesha, 2020).

(ii) Tecnologias que envolvem tratamento químico

Cloração

A cloração é uma técnica simples e barata que consiste em adicionar Hipoclorito de sódio na água. É eficaz na remoção de bactérias, protozoários, vírus e alguns contaminantes químicos. Contudo há dificuldade de determinar a dose de cloro adequada, que em excesso pode potenciar uma alteração de sabor. As reações químicas podem resultar na geração de subprodutos/resíduos de desinfecção (Venkatesha, 2020).

Adsorção

A adsorção é maioritariamente realizada com recurso ao carbono ativado que é um ótimo adsorvente. Este consegue remover partículas e matéria orgânica, sabores e odores, sendo muito utilizado para complementar outros métodos de desinfecção como a cloração ou tratamento UV. No entanto não é eficaz na remoção de vírus ou bactérias microbianas e necessita de substituição frequente (Loo et al., 2012).

(iii) Tecnologias que envolvem remoção física

Sedimentação ou clarificação

Clarificadores como alumínio, cal, ferro e certas sementes são utilizados para reduzir a turbidez através da sedimentação. Esta pode também ajudar na redução da contaminação microbiana em até 95%. No entanto, não é fácil determinar a dose de clarificadores adequada. (Sobsey, 2002)

Filtração com areia

Um filtro de areia consiste num recipiente cheio de areia onde se permite o desenvolvimento de uma camada biologicamente ativa na superfície superior, restringindo a passagem de bactérias e protozoários e removendo a turbidez (Peter-Varbanets et al., 2009). Pode purificar até 20 L/hora, mas é incapaz de remover vírus.

Tratamentos à base de membranas

Nestes quatro métodos assinalados na **Figura 4**, a filtração ocorre através de uma membrana semipermeável devido à gravidade ou a uma diferença na pressão, potencial osmótico, temperatura ou potencial elétrico. O grau de filtração depende do tamanho dos poros, pelo que a microfiltração (0,1-1 μm) pode reter apenas bactérias, a ultrafiltração (0,005-0,1 μm) pode remover tanto bactérias como vírus. Para além disso, a nano filtração (0,5-5 nm) não pode reter sais, enquanto a osmose inversa (0,15-0,5 nm) pode removê-los. (Peter-Varbanets et al. 2009)

(iv) Tecnologias combinadas

Considerando as vantagens e limitações dos diferentes métodos de tratamento de água, alguns dos purificadores de água de água domésticos combinam vários tipos de tecnologias para uma purificação mais eficaz. Por exemplo, os sistemas de osmose Inversa são geralmente combinados com técnicas de microfiltração, ultrafiltração e tratamento ultravioleta.

2.2.3. Filtros de água disponíveis no mercado

No mercado atual existem centenas de filtros de água portáteis disponíveis, cada um com características diferentes e adequadas para diversas ocasiões. Abaixo serão enumerados alguns dos mais conhecidos e comercializados nos dias de hoje, dentro dos quais se destacam as palhas filtrantes e as garrafas filtrantes.

LifeStraw



Este produto é muito simples de utilizar (como se fosse uma palha normal) e permite beber água a partir de fontes não potáveis. Sem o uso de qualquer produto químico, combina uma tecnologia de microfiltração e carbono ativado, removendo cerca de 99% das bactérias, micro plásticos e parasitas da água. Pode filtrar até 4000 litros de água, no entanto, não elimina o mau gosto, sais e outros elementos químicos. O produto é o líder de mercado e é

Figura 5: Filtro LifeStraw produzido pela empresa Lifestraw. ²

² Lifestraw (2020). Lifestraw products. Disponível em: <https://eu.lifestraw.com/products/lifestraw>. Acedido a 24/10/2020.

Unilever's Pureit

O *Unilever's Pureit* é um purificador de água doméstico que foi lançado em 2008 na Índia pela empresa Hindustan Unilever. É um sistema de filtragem capaz de remover vírus e bactérias que não necessita de corrente elétrica para funcionar. A tecnologia consiste num processo de purificação em quatro fases que inclui uma malha de microfibras para a remoção de partículas maiores, um filtro de carbono para a remoção de certos protozoários parasitas, um doseador de cloro para a desinfecção e um corretor de carbono para remover o excesso de cloro e subprodutos da cloração (Levänen et al., 2016).



Figura 6: Filtro Unilever's Pureit

Sawyer Mini



Produzido pela Sawyer Products, este filtro pode ser usado como palha ou ser fixado diretamente a garrafas de água descartáveis ou aos Squeeze Bags oferecidos pela empresa. Tem uma taxa de filtração um pouco lenta e inferior à do filtro LifeStraw, mas possui capacidade para filtrar mais de 350000 litros de água. Apesar de não remover químicos ou vírus, contém uma tecnologia de microfiltração capaz de filtrar bactérias sendo uma opção muito segura para usar em fontes regulares de água doce (rios) ou na água da torneira. O seu preço de mercado é aproximadamente 17 uros.³

Figura 7: Filtro Sawyer Mini

Tata Swach



O *Tata Swach* é um purificador de água para uso doméstico de baixo custo desenvolvido pela Tata Chemicals, que não necessita de eletricidade pois funciona apenas com base na gravidade (Levänen et al., 2016). Foi lançado em 2009, na Índia, como um dos purificadores de água mais baratos do mundo, custando metade do preço do Unilever's Pureit (Rangan e Sinha, 2011). A tecnologia de purificação usada é a nano filtração, eficaz na eliminação de vírus e bactérias. Tem uma vida útil de 1500 litros e 3000 litros e pode filtrar até 4 litros de água por hora (Levänen et al., 2016).

Figura 8: Filtro Tata Swach

³ Heavy (2020). 11 Best Portable Water Filters: The ultimate List. Disponível em: <https://heavy.com/travel/2018/10/portable-water-filter/>. Acedido em 24/10/2020.

Big Berkey

Este trata-se de um filtro de bancada e como não poderia deixar de ser, devido ao seu tamanho, a portabilidade é mais pequena. É indicado para filtrar grandes quantidades de água, para várias pessoas, e tem capacidade para filtrar e armazenar até 22 litros de água. O sistema combinado de microfiltração e adsorção remove 100% dos agentes patogénicos na água e pode filtrar cerca de 15 litros por hora. É o sistema de filtragem doméstica mais vendido, produzido pela W.R. Berkley e custa cerca de 250 euros.⁴



Figura 9: Filtro Big Berkey

MSR TrailShot



Figura 10: Filtro MSR TrailShot

Este filtro da marca MSR, é praticamente 100% eficaz na remoção de bactérias, protozoários e partículas em suspensão. Consegue filtrar um litro de água em um minuto sem usar qualquer produto químico e tem uma vida útil de 2000 litros. A tecnologia purificadora de microfiltração pode ser substituída e este é especialmente indicado para fontes de água doce pouco profundas. Uma desvantagem é o preço, 41 euros que acaba por ser mais caro que a maioria dos filtros semelhantes.³

Ultralight Bottle

Para utilizar a Ultralight Bottle da marca GRAYL, basta enchê-la com água, fechar a tampa e pressionar durante 15 segundos (pode filtrar 2 L/min). A membrana existente e o carbono ativado permitem filtrar eficazmente partículas, produtos químicos e eliminar maus sabores e odores, a garrafa faz algo que poucos filtros portáteis conseguem: filtrar os vírus. Possui um cartucho de purificador que pode ser substituído após 300 utilizações (150L). Este filtro encontra-se disponível no mercado por 60 euros.⁵



Figura 11: Filtro Ultralight

2.3 Caracterização do problema

A água é um bem comum e sem ela não conseguiríamos viver. O acesso à água potável é algo a que todos temos direito, e esta é essencial para a saúde e bem-estar do ser humano. No entanto, o aumento da população mundial, o rápido avanço da industrialização e as alterações climáticas fizeram com que nos dias de hoje um elevado número de pessoas enfrente escassez de água. As diferenças entre as zonas desenvolvidas e as zonas rurais ou em desenvolvimento são notórias e evidenciam que a crise mundial dos recursos hídricos está diretamente ligada às desigualdades sociais.

⁴ Berkey (2020). El filtro Berkey es el purificador de agua numero 1 del mundo. Disponível em: <https://berkey-store.com/es/>. Acedido em 24/10/2020

⁵ Gazette Review (2017). Top 10 LifeStraw Alternatives – 2018 Best Portable Water Filters. Disponível em: <https://gazettereview.com/2017/04/top-ten-lifestraw-alternatives/>. Acedido a 20/10/2020.

Em muitos casos, não existem sistemas de águas centralizados ou estes podem estar contaminados por vírus e bactérias. Deste modo, torna-se crucial a utilização de tecnologias de purificação para que a água seja purificada e própria para beber. No mercado global, existem inúmeros tipos de tecnologias purificadoras com diferentes atributos. No entanto a grande maioria são criados para serem utilizados em países desenvolvidos, e têm preços elevados, necessitam de manutenção frequente ou têm uma dependência energética elevada. É necessário assim investir na criação de tecnologias acessíveis, sustentáveis, duradouras e inovadoras adequadas para os mercados emergentes. Deste modo, esta dissertação será centrada nas tecnologias de purificação no ponto de uso, reconhecidas pela sua portabilidade e facilidade de utilização, e ao longo dela serão avaliadas as várias tecnologias existentes de modo a escolher a mais adequada e assim proceder à criação de um protótipo virtual.

2.4 Conclusões do capítulo

O capítulo 2 aborda a indústria da água e mostra como esta é utilizada no mundo. Alerta para a falta de água potável em muitas zonas do globo, evidenciando a diferença entre os países emergentes e os desenvolvidos. As consequências que essa escassez tem trazido para a saúde de milhões de pessoas também são explicadas. De seguida, são introduzidas as tecnologias de purificação no ponto de uso que podem ser utilizadas para melhorar a qualidade da água. Posteriormente, as várias tecnologias purificadoras no ponto de uso são brevemente descritas uma a uma. Foi também elaborada uma lista com a descrição de alguns dos exemplares mais conhecidos disponíveis no mercado. Para finalizar, é apresentada a caracterização do problema.

3. Estado de Arte

Uma vez que o objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo que suporte a futura construção de um produto, é necessário explorar conceptualmente a temática do design do produto. Deste modo, a secção 3.1 analisa o conceito de design de produto, e nele são apresentadas as suas várias definições, dimensões e etapas de acordo com a literatura existente. A secção 3.2 apresenta o conceito de Inovação frugal e as suas várias definições e características, seguido dos mercados onde esta pode ser usada com especial atenção para o setor da água. A secção 3.3 resume as principais conclusões do capítulo.

3.1 Design do produto

3.1.1 Definição de design do produto

Juntamente com o preço, promoção e distribuição, o produto é um dos quatro P's do Marketing Mix e o design é uma das suas características fundamentais (Bloch, 1995; Kotler e Armstrong, 2010). No entanto, a literatura existente não contém uma definição exata e amplamente aceite de design do produto. Ainda assim, foi possível identificar um conjunto de definições propostas por diferentes autores (ver **Tabela 1**).

Tabela 1: Revisão de literatura sobre a Definição de Design do Produto

Autores	Definição de Design do Produto de acordo com o artigo
Bloch et al. (2003)	O design do produto é uma atividade multifacetada que envolve diferentes aspetos de engenharia, marketing e estética
Fuller e Ottman (2004)	O termo produto pode ser definido como um conjunto de atributos tangíveis e intangíveis que proporciona benefícios ao cliente através da forma e função. Os atributos descrevem produtos a um nível geral. Durante o processo de design, os atributos são convertidos em especificações que definem detalhadamente o que é o produto e o que ele faz.
Shane e Ulrich (2004)	Definimos o design do produto como o conjunto de decisões que definem o próprio produto.
Antioco et al. (2008)	O design do produto é definido como a atividade que transforma um conjunto de requisitos do produto numa especificação da geometria e das propriedades materiais de um artefacto.
Noble (2010)	O design tem sido frequentemente considerado como um conjunto de atributos que são manipulados para otimizar a satisfação do consumidor.
Bloch (2011)	O design refere-se às características da forma de um produto que proporcionam benefícios utilitários, hedónicos e semióticos para o utilizador.
Ulrich (2011)	O design do produto é criar e dar forma aos bens e serviços que respondem às necessidades.
Creusen (2011)	O design do produto refere-se tanto ao processo como ao resultado da determinação da execução física e da disposição das características de uma oferta de produto. Estas características referem-se às funcionalidades e à aparência física/forma.
Luchs and Swan (2011)	Design do produto: conjunto de propriedades de um artefacto, que consiste nas propriedades discretas da forma (ou seja, a estética do bem tangível e/ou serviço) e da função (ou seja, suas capacidades), juntamente com as propriedades holísticas da forma e função integradas.
Ulrich e Eppinger (2012)	O design permite criar e desenvolver conceitos e especificações que otimizem a função, o valor e a aparência dos produtos e sistemas para benefício mútuo do utilizador e do fabricante".
Townsend e Sood (2014)	Em todos os estudos, quando discutimos "design", referimo-nos aos aspetos puramente estéticos e funcionalmente independentes de um produto.

Com base nas definições apresentadas, a definição geral que se seguirá neste trabalho é a seguinte (compila as características relevantes das anteriores):

Existem inúmeros exemplos de produtos cujo sucesso no mercado tem sido largamente atribuído à combinação de inovação e excelência do design, incluindo automóveis, dispositivos eletrónicos, pequenos eletrodomésticos e equipamentos áudio. Para além disso, o design também desempenha um papel importante ao chamar a atenção dos utilizadores para o produto na fase inicial da interação utilizador-produto (Bloch et al., 2003; Crilly et al., 2004; Blijlevens et al., 2009;), e alterações aparentemente subtis no design podem ter impacto crucial nas preferências de compra dos consumidores (Raghubir e Greenleaf, 2006).

Segundo Lee et al. (2011) as características visuais são um dos fatores mais importantes para o sucesso de um produto no mercado, e o design tem a capacidade de dar ao produto um carácter único e um aspeto desejável. Assim, os designers devem tentar transformar conceitos abstratos em algo que seja perceptível visualmente (Govers et al., 2003). Pois se o design de um produto não comunicar da forma correta determinados valores, poderá ser mais difícil para os consumidores avaliarem o produto e conseqüentemente a sua probabilidade de fracasso no mercado aumenta (Blijlevens et al., 2009).

3.1.2 Dimensões do design do produto

Como vimos anteriormente, a definição de design do produto ainda está longe de ser consensual e as suas dimensões são uma das principais razões dessa divergência (Homburg et al. 2015). A pesquisa realizada até ao momento é bastante restrita e limitada, variando desde uma dimensão referente a aspetos estéticos (Landwehr et al., 2012) até dimensões hedónicas e utilitárias (Chitturi et al, 2008). No entanto, a investigação recente vai além de uma medição unidimensional ou bidimensional e Bloch (2011) e Homburg et al. (2015) consideram o design do produto um conceito tridimensional composto pelas dimensões estética, funcional e simbólica. A estas, Creusen e Schoormans (2005) e Chen (2018) acrescentam ainda uma quarta dimensão, a ergonómica. Apesar de diferentes, estas características estão relacionadas entre si e um produto não deve ter características de uma só dimensão, mas sim das várias dimensões em simultâneo (Homburg et al., 2015; Chen, 2018).

A dimensão estética está relacionada com a aparência visual do produto (Bloch, 2011; Desmet e Hekkert, 2007) e com as emoções que esta pode gerar nos consumidores (Homburg et al. 2015; Jindal et al. 2016). De acordo com Reber et al. (2004) esta dimensão é uma combinação entre os atributos do próprio produto e as percepções do mesmo, criadas pelos consumidores. Esta combinação sustenta assim a definição de design do produto segundo Leder et al. (2004) e Homburg et al. (2015), de acordo com a qual um produto possui atributos que provocam uma percepção de beleza para o observador.

A dimensão simbólica relaciona-se com a mensagem que um produto transmite e que é percebida pelos consumidores através dos elementos visuais (Bloch, 2011; Homburg et al., 2015). O significado simbólico de um produto pode suscitar vários pensamentos ao observador, e estes podem estar relacionados com determinado tempo ou local (Creusen e Schoormans 2005; Homburg et al., 2015). Pode transmitir uma percepção diferente da dimensão estética, como por exemplo quando "alguém que gosta de um design colorido [dimensão estética] pode não o comprar porque parece 'demasiado infantil' [dimensão simbólica]" (Creusen e Schoormans, 2005).

A dimensão funcional está relacionada com a percepção do consumidor em relação á capacidade de um produto para satisfazer as suas necessidades (Bloch 2011; Boztepe 2007). Em alguns produtos, uma avaliação adequada da funcionalidade só é possível após a utilização ou consumo do mesmo. No entanto, de acordo com Hoegg e Alba (2011), em muitos casos essa funcionalidade pode ser avaliada apenas pela observação do produto, o que é muito importante

em lojas onde o consumidor não tem a oportunidade de experimentar o produto de forma

Autores	Estética	Funcional	Simbólica	Ergonómica	Outra
Creusens e Schoorsman (2005)	x	x	x	x	
Chitturi et al. (2008)	x	x			
Antioco et al. (2008)	x	x		x	
Noble and Kumar (2010)		x	x		
Bloch (2011)	x	x	x		
Srinivasan et al. (2012)	x	x			X
Giese et al. (2014)	x				
Rubera (2015)	x				
Moon et al. (2015)	x	x		x	
Homburg et al. (2015)	x	x	x		
Jindal et al. (2016)	x	x	x	x	
Candi et al. (2017)	x	x	x		
Chen (2019)	x	x	x	x	

abrangente (Spears e Yazdanparast, 2014).

Por último, a dimensão ergonómica que de acordo com alguns autores está relacionado com a dimensão funcional. No entanto, Jindal et al. (2016) e Moon et al. (2015) fazem uma distinção, de acordo com a qual a dimensão funcional está centrada nos benefícios funcionais, e a ergonómica está relacionada com a forma como o design do produto facilita a utilização e com o conforto. De acordo com Creusen e Schoormans (2005) a ergonomia do produto diz respeito à compreensibilidade e usabilidade de um produto e à correta comunicação das suas funções utilitárias aos consumidores. Estes podem formar uma impressão sobre a facilidade de utilização com base na aparência do produto (Norman, 1988).

A **Tabela 2**, adaptada da revisão de literatura de Chen (2018), fornece uma visão geral das diferentes perspetivas existentes na literatura e como os diversos autores variam no que diz respeito às dimensões do design do produto. Todas as dimensões foram agrupadas em cinco categorias com base na análise de Homburg et al. (2015): i) estética; ii) funcional; iii) simbólica; iv) ergonómica e v) outras.

Tabela 2: Revisão de literatura sobre as dimensões do design do produto (adaptada de Chen, 2018)

3.1.3 Etapas do Design do Produto

De acordo com Slack et al. (2016), as cinco etapas necessárias para obter o produto final com as características desejadas são: Geração do conceito, Análise/seleção do conceito, Design preliminar, Avaliação e melhoria do design e Prototipagem e design final.

A Geração do conceito é o primeiro passo e representa a transformação de uma ideia num produto físico sem perder a sua natureza e as especificações necessárias. De uma forma geral, as ideias para novos produtos podem surgir de várias fontes, tanto externas como internas: as fontes externas são os clientes, que fornecem dados e informações que permitem testar ideias ou verificar serviços/produtos relativamente a critério pré-determinados, e os concorrentes, que por vezes têm ideias que podem valer a pena ser copiadas ou melhoradas. As fontes internas incluem os vendedores, que estão em contato com os clientes e recolhem sugestões sobre o que eles podem ou não gostar, e o departamento de I&D (Investigação e Desenvolvimento), que investiga e desenvolve novas ideias para resolver problemas ou explorar oportunidades (Slack et al., 2016). Para que uma ideia de produto se torne num conceito de produto, são necessários três elementos: a forma, que é a coisa física que vai ser criada (ou, no caso de um serviço, a sequência de passos pelos quais o serviço será criado), a tecnologia, que será usada e que está na base da inovação, e a necessidade, pois os benefícios obtidos pelo cliente dão valor ao produto.

A etapa seguinte é Triagem do conceito, pois nem todos os conceitos criados serão capazes de se desenvolverem. Segundo Trott (2017), este processo permite selecionar as ideias que serão bem-sucedidas e eliminar as não parecem ter grande potencial, evitando maiores custos nas fases seguintes. Os conceitos são avaliados com base numa série de critérios de design, que embora dependam da natureza e das circunstâncias do produto, de acordo com Slack et al. (2016), podem ser englobados em três grandes categorias:

- Viabilidade: a empresa possui os conhecimentos técnicos, experiência comercial, e recursos financeiros necessários para desenvolver a ideia?
- Aceitabilidade: a opção vai ter procura suficiente dos clientes e consegue proporcionar um retorno financeiro satisfatório?
- Vulnerabilidade: as consequências que a opção pode trazer, principalmente se forem negativas, compensam o risco?

O próximo passo é o Design preliminar que envolve a identificação de todos os componentes ou elementos individuais do produto/serviço e a forma como estes se relacionam (Slack et al., 2016). De acordo com Garza-Reyes et al., (2017), as ferramentas típicas utilizadas durante esta fase são as Estruturas de produtos e os Fluxogramas que fornecem informação acerca da lista de materiais, da ordem pela qual estes devem ser montados, a quantidade necessária de cada um para constituir o produto final.

Uma vez concluído o Design preliminar, é necessário reavaliar o design do produto para ver se algo pode ser feito de uma forma melhor, mais barata ou mais fácil. Para isso existe a Avaliação

e a melhoria do design, estando esta ligada à etapa anterior, uma vez que se concentra em melhorar o Design preliminar antes de um protótipo ser feito ou testado e o produto ser lançado no mercado (Slack et al., 2016). Existem várias técnicas que podem ser utilizadas nesta fase, das quais se destacam três: Implementação de Funções de qualidade, Método Taguchi, e Engenharia de valores (Garza-Reyes et al., 2017). A primeira assegura que o produto satisfaz as necessidades dos clientes, a segunda é utilizada para melhorar a qualidade do produto fabricado e prepará-los para situações extremas e a última visa melhorar o valor do produto, eliminando os custos desnecessários. Estas técnicas podem ser utilizadas em simultâneo de modo a obter um design rentável e robusto, integrando todas as especificações e características desejadas pelo cliente.

Por último, a Prototipagem e design final transforma o design melhorado num protótipo para que este possa ser testado, e concluir se tudo funciona de acordo com as expectativas e se este satisfaz as normas de qualidade. Segundo Slack et al. (2016) pode ser demasiado arriscado produzir e lançar um produto em larga escala antes de o testar, pelo que é normalmente mais apropriado criar um "protótipo". Atualmente, a utilização de protótipos visuais e simulações baseadas na realidade virtual são uma prática muito comum, e permitem às empresas testar novos produtos, planear os processos para a sua produção e ensaiar a sua montagem (Garza-Reyes et al., 2017). Ulrich e Eppinger (2012) acrescentam que a prototipagem pode ser feita utilizando duas tecnologias: Modelação CAD 3D e Produção de forma livre. A Modelação CAD 3D é um programa informático onde o produto pode ser desenhado e assim obter uma visualização tridimensional do mesmo. Isto permite avaliar a aparência do produto e alterar facilmente alguma das suas características físicas. Esta tecnologia é utilizada para planear a montagem final e perceber se o produto tem algum erro geométrico. A Produção de forma livre, é a criação dos produtos diretamente a partir do desenho CAD 3D, e pode ser realizada por uma impressora 3D (Ulrich e Eppinger, 2012).

3.1.4 Design para “X”

Nas últimas décadas, o processo do design de produto tem sido essencial para empresas das mais variadas indústrias, com o objetivo de atingir uma maior produtividade, maior eficiência e, mais recentemente, um menor impacto ambiental. Devido à sua importância, decisões críticas de design do produto podem ter um grande impacto nas fases posteriores do ciclo de vida do produto, como ilustrado por (Rose, 2000) na **Figura 12**.

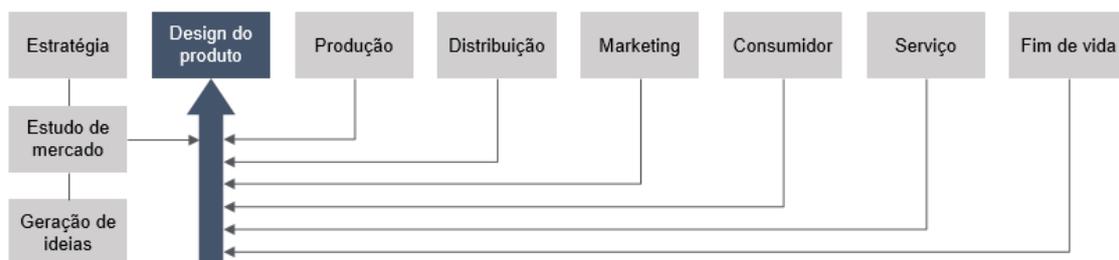


Figura 12: Representação do impacto das decisões no processo do design do produto ao longo do ciclo de vida

À medida que o desenvolvimento do produto vai progredindo, o custo e o esforço de qualquer alteração no design vai aumentando, pelo que é essencial evitar ou detetar potenciais problemas o mais cedo possível (Holt e Barnes, 2009). Com esse objetivo, existem métodos específicos de design que se concentram em diferentes aspetos do ciclo de vida do produto, e que são conhecidos como Design para X (DfX). De acordo com Radziwill e Benton (2017) as técnicas de design para X fornecem orientações, heurísticas e indicadores de modo a garantir a existência de um determinado atributo ou qualidade no design. De um modo geral, os métodos DfX fornecem orientações para que os designers de produtos "adaptem o produto às exigências ambientais e evoluam". Kuo et al. (2001) identificaram as seguintes aplicações:

- Design para montagem
- Design para fabricação
- Design para desmontagem e design para reciclagem
- Design para ambiente
- Design para ciclo de vida
- Design para qualidade
- Design para manutenção
- Design para confiabilidade
- Design para capacidade de Serviço
- Design para processo/produtividade
- Design para o fim do ciclo de vida dos produtos
- Design para diversidade do produto
- Design para a cadeia de abastecimento

O conceito de ciclo de vida começou a ganhar alguma importância e a ser cada vez mais estudado, pois fornece uma visão das necessidades e respetivos impactos em cada uma das etapas da vida de um produto, desde a extração da matéria-prima até a eliminação dos resíduos gerados. Isto levou ao desenvolvimento de metodologias e normas que melhorassem o design e o processo produtivo do produto, de modo que este cumpra as mesmas funções, mas com efeitos menos prejudiciais ao longo de toda a sua vida. A relação causa / efeito é difícil de estabelecer durante o design do produto, dada a diversidade de competências envolvidas. Deste modo, e uma vez que cada uma foca apenas um aspeto do produto, os métodos DfX devem ser usados em conjunto (Holt e Barnes, 2009).

Estes métodos têm em conta os impactos ambientais do ciclo de vida de um produto, de modo a facilitar e orientar as decisões de design para a criação de soluções sustentáveis. Nesse aspeto, o Eco design vai apresentar uma visão mais aprofundada na secção seguinte.

3.1.4 Eco design

O objetivo do Eco design ou Design ecológico é criar soluções sustentáveis que satisfaçam as necessidades humanas. De acordo com Charter e Tischner (2001), essas soluções sustentáveis são produtos/ serviços que minimizam os impactos negativos e maximizam os impactos positivos

da sustentabilidade - económicos, ambientais, sociais e éticos - durante e para além do ciclo de vida dos produtos ou soluções existentes, satisfazendo simultaneamente as exigências/necessidades da sociedade". O Eco design tem vindo a evoluir, pois no início abrangia apenas a fase de design do produto. Atualmente, as estratégias de Design ecológico devem abranger o desenvolvimento de novos conceitos, seleção de materiais de baixo impacto, redução da utilização de materiais, otimização das técnicas de produção, otimização do sistema de distribuição, redução do impacto durante a utilização, a otimização dos sistemas de fim de vida (Li et al., 2014). Na **Figura 13** podemos ver as diversas áreas do Eco design: Design verde, Produção limpa, Sistema de gestão ambiental, Controlo de fim de ciclo, e Eco design.

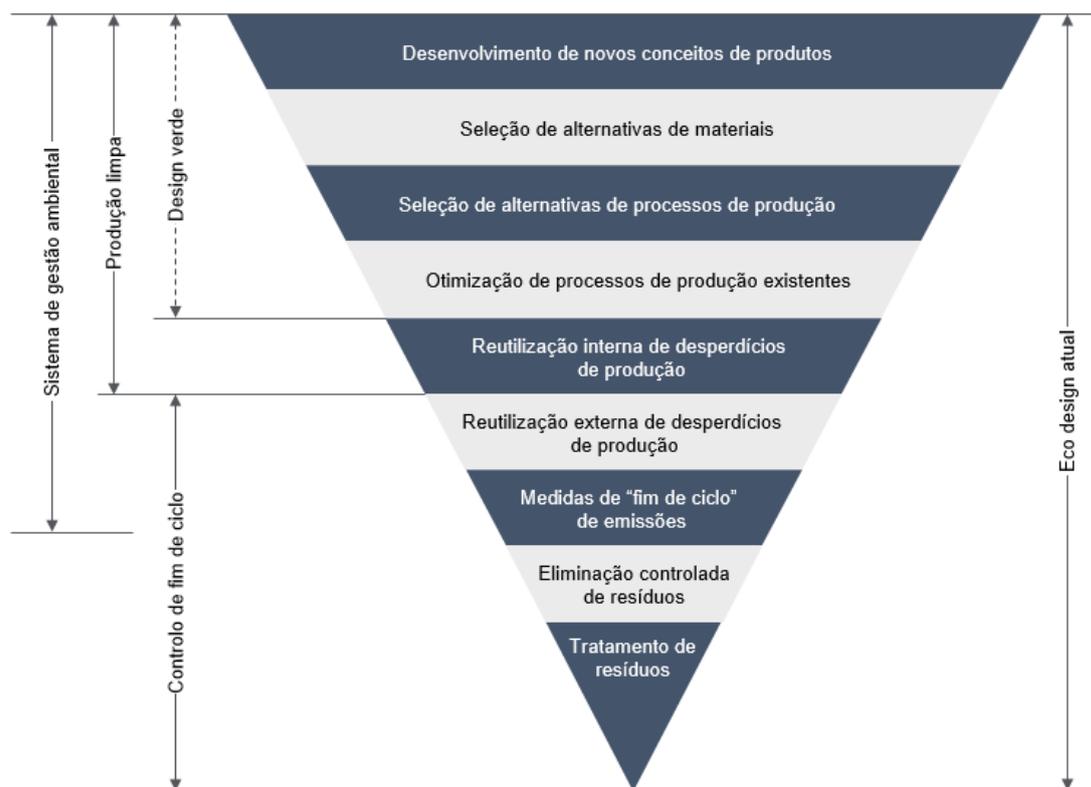


Figura 13: Áreas do Eco design de acordo com Li et al. (2014)

Com o passar dos anos, o design do produto tem evoluído e tem sido essencial para satisfazer as necessidades da sociedade em geral. No entanto, as soluções existentes nem sempre são adequadas, e o design dos produtos destinados a pessoas que vivem em mercados em desenvolvimento ou emergentes é um desafio constante. Os processos de inovação convencionais utilizados no mundo industrializado são na maioria das vezes inúteis devido ao seu capital elevado e por isso há necessidade de uma abordagem alternativa que seja capaz de criar e desenvolver soluções sustentáveis, robustas, de baixo custo e com qualidade: A inovação frugal (Li et al., 2014).

3.2 Inovação frugal

3.2.1 Definição

O conceito de inovação frugal foi introduzido pelo jornal *The Economist* em 2010 e desde aí tem vindo a ser cada vez mais reconhecido pela sociedade. Hossain et al. (2016) definem a inovação frugal como uma solução de recursos escassos (seja ela um produto, serviço, processo, ou modelo de negócio) que é concebida e implementada apesar das restrições financeiras, tecnológicas, materiais ou de outros recursos, em que o resultado final é significativamente mais barato do que as ofertas competitivas (se disponíveis) e é suficientemente bom para satisfazer as necessidades básicas dos clientes. De acordo com Basu et al. (2013), o objetivo é satisfazer as necessidades cruciais dos clientes utilizando recursos escassos ou eliminando características não essenciais para desenvolver produtos acessíveis, adaptáveis e apropriados. Por outras palavras, a finalidade da inovação frugal é criar soluções de qualidade "suficientemente boas" com recursos prontamente disponíveis e que proporcionem o maior valor ao menor custo para os clientes carenciados que deles necessitem.

Como relatado por Brem e Wolfram (2014), alguns autores atribuem a inovação frugal apenas à perspectiva do produto (Kingsnorth et al., 2011), outros à perspectiva do processo (Woodward, 2011) e outros a ambas. Como é o caso de Bhatti et al. (2013), de acordo com os quais a inovação frugal é vista como um processo e um resultado ao mesmo tempo, o que significa que o termo pode ser aplicado ao conjunto de atividades necessárias para criar o produto, mas também ao produto propriamente dito.

Nos diversos artigos da literatura existem várias definições de Inovação frugal e a **Tabela 3**, adaptada do trabalho de Hossain et al. (2016), engloba uma lista representativa das mesmas.

Tabela 3: Revisão da literatura acerca de definição de inovação frugal

Autor	Definição de Inovação frugal de acordo com o artigo
Basu et al. (2013)	Processo de inovação do design para resolver os desafios da sustentabilidade nos mercados emergente, através do desenvolvimento de serviços e produtos apropriados, adaptáveis, acessíveis e de baixo custo.
Zeschky et al. (2014)	As inovações frugais são tipicamente construídas em arquiteturas de novos produtos que permitem aplicações inteiramente novas a preços muito mais baixos do que as soluções existentes".
Kuo (2014)	As inovações frugais são produtos e serviços que se concentram em necessidades cruciais, poupam a utilização de recursos ou eliminam características não essenciais no processo de design.
Radjou and Prabhu (2015)	Produtos bem concebidos e de boa qualidade que são desenvolvidos de forma rentável e vendidos a preços acessíveis para oferecer o melhor valor ao cliente. A capacidade de criar significativamente mais valor comercial e social, minimizando ao mesmo tempo a utilização de recursos em diminuição, tais como energia, capital e tempo.
Levanen et al. (2015)	Refere-se a soluções criadas sob as circunstâncias de limitações de recursos. É impulsionada pela procura e concorrência de baixo custo em mercados emergentes onde as empresas estão a desenvolver novas soluções para a escassez de recursos, para segmentos de baixo rendimento e de rendimento médio crescente.
Hyvarinen et al. (2016)	Inovações frugais foram propostas como uma potencial abordagem para servir consumidores com limitações de recursos em mercados emergentes e em desenvolvimento, bem como nos mercados ocidentais de baixo crescimento, devido à sua noção de acessibilidade e boa qualidade.

Khan (2016)	"A inovação frugal refere-se a produtos, serviços, processos, ou métodos de marketing que procuram minimizar a utilização de recursos materiais e financeiros com o objetivo de reduzir custos, cumprindo ou mesmo excedendo certos critérios pré-definidos de padrões de qualidade aceitáveis.
Wohlfart et al. (2016)	"As inovações frugais restringem os produtos e serviços a funcionalidades básicas e incorporam-nos em modelos de negócio inovadores para os tornar acessíveis a grupos de clientes sensíveis aos preços".
Pansera and Sarkar (2016)	"A inovação frugal responde às limitações de recursos, sejam financeiros, materiais ou institucionais, e transforma essas restrições em vantagens. Ao minimizar o uso de recursos no desenvolvimento, produção e entrega, ou alavancá-los de novas maneiras, a inovação frugal resulta em produtos e serviços de custo dramaticamente mais baixo
Weyrauch and Herstatt (2016)	"Propomos que as inovações sejam frugais se atenderem simultaneamente aos critérios de redução substancial de custos, concentração nas funcionalidades essenciais e nível de desempenho otimizado.

3.2.2 Características da inovação frugal

Ao longo dos diversos artigos existentes na literatura, os autores enumeram as características (Hamacher, 2014), as competências principais (Basu et al., 2013) e os atributos da inovação frugal (Radjou e Prabhu, 2015). Roland Berger (2015) usa a sigla FRUGAL para explicar as suas principais características:

- (i) F-Functional (Funcional)
- (ii) R-Robust (Robusta)
- (iii) U-User-friendly (Fácil de utilizar)
- (iv) G-Growing (Crescimento no mercado)
- (v) A-Affordable (Acessível)
- (vi) L- Local (Local)

(i) Funcional

Os produtos frugais são funcionais no sentido em que são concebidos para serem práticos, úteis, fáceis de utilizar e capazes de resolverem problemas (Radjou e Prabhu, 2015; Rocca, 2016). Centrando-se nas necessidades essenciais, as funcionalidades do produto servem os clientes da forma mais simples e estes devem ser capazes de utilizar intuitivamente estas ofertas (Petrick e Juntiwarakij, 2011). De acordo com Basu et al. (2013), os produtos frugais abordam a essência do problema e não incluem extras desnecessários, beneficiando os consumidores com restrições orçamentais.

(ii) Robusto

As inovações frugais exigem um elevado nível de estabilidade para enfrentar ambientes físicos adversos (Kumar e Puranam, 2011; Basu et al., 2013). De facto, as inovações frugais têm de lidar com várias deficiências infraestruturais, tais como as temperaturas extremas e os frequentes cortes de energia " (Tiwari et al., 2014; Soydan, 2012). Os produtos devem ser constituídos por materiais duradouros e componentes de fácil manutenção para que a seu tempo de vida útil seja maior. Os consumidores dos mercados emergentes, dão prioridade à durabilidade e fiabilidade

em condições adversas, e desse modo os produtos frugais precisam de ter uma elevada robustez.

(iii) Fácil de utilizar

As inovações frugais devem ser simples de modo a que os clientes possam utilizar intuitivamente o produto sem qualquer conhecimento prévio. Devem possuir apenas os requisitos funcionais essenciais que são altamente valorizadas pelos seus clientes e assim serem acessíveis economicamente (Petrick e Juntiwassarakij, 2011).

(iv) Crescimento no mercado

As inovações frugais têm como objetivo servir os mercados de volumosos (Tiwari e Herstatt, 2013) e as empresas devem utilizar as economias de escala para reduzir os custos de produção (Kumar e Puranam, 2011). Os produtos frugais enfrentam uma elevada taxa de crescimento de clientes pois visam transformar em clientes todos os não-consumidores, que constituem a maior parte do mercado emergente (Tiwari e Herstatt, 2013).

(v) Acessível

Os produtos frugais devem ser acessíveis economicamente e isso pode acontecer de duas maneiras: ou o seu preço é barato ou os custos de operação e manutenção ao longo de todo o ciclo de vida são baixos (London e Hart, 2011). Tiwari e Herstatt (2013) complementam essa teoria, afirmando que quando se procura uma solução frugal, caracterizada por um baixo custo, a acessibilidade económica deve ser considerada em todas as atividades da cadeia de valor. De acordo com Roland Berger (2015) a utilização de recursos locais é uma das melhores formas de alcançar essa acessibilidade. Atualmente, as inovações frugais podem fazer com que os produtos custem entre 50% e 97% menos do que os produtos normais correspondentes (Rao, 2013). De acordo com Angot e Plé (2015), os produtos frugais visam utilizadores cujos recursos financeiros são extremamente limitados, e por isso eles devem ser altamente acessíveis e possuir apenas as funcionalidades que são verdadeiramente essenciais para esses clientes.

(vi) Local

As soluções frugais dão prioridade à utilização de recursos locais de modo a reduzir custos e riscos (Tiwari e Herstatt, 2014). Em vez de importar, são criados centros de inovação e fabrico perto dos clientes com fornecedores, empregados, equipamentos e materiais locais (Engel e Sabaux, 2014; Rosca et al., 2016). Isto permite a criação de emprego, geração de rendimentos, progresso educacional e construção de infraestruturas que melhora o bem-estar da população local (Kahle et al., 2013) enquanto satisfazem as suas necessidades ambientais e socioculturais específicas (Tiwari e Herstatt, 2014).

(vii) Oportuno

A velocidade e a flexibilidade são consideradas características importantes nos mercados emergentes (Rocca, 2016). Sendo a inovação frugal uma estratégia orientada para o mercado e não tanto para a tecnologia, é vital acelerar o desenvolvimento e a introdução de produtos no mercado (Engel e Sabaux, 2014). De acordo com Roland Berger (2015) a velocidade sobrepõe-

se à perfeição e os produtos devem chegar o quanto antes ao mercado, a sua qualidade deve ser “suficientemente boa” e devem satisfazer as necessidades relevantes do cliente.

(viii) Amiga do ambiente

De acordo com Bocken e Short (2016), as inovações sustentáveis devem ter um impacto ecológico gerando melhorias nas áreas de ecodesign e eco-eficiência. Ao desenvolver uma estratégia de inovação frugal, as empresas devem incorporar algumas medidas ambientais, tais como reduzir as emissões e os resíduos (Rosca et al., 2016). A medida ambiental fundamental que deve ser seguida pelas empresas de inovação frugal é reciclar ao longo de toda a cadeia de valor (Radjou e Prabhu, 2015) e integrar procedimentos de economia circular.

3.2.3 Mercados e sectores da inovação frugal

Apesar de alguns investigadores restringirem as inovações frugais apenas aos países emergentes e recentemente industrializados (George et al., 2012), outros argumentam que estas também são exigidas pelos consumidores de países desenvolvidos (Hossain, 2016).

De acordo com Prahalad e Mashelkar (2010), existe um enorme mercado emergente com cerca de 4 biliões de pessoas onde as necessidades básicas continuam por satisfazer. O acesso a água potável, serviços de saúde, educação, e a fontes de energia são alguns dos problemas urgentes que necessitam de soluções imediatas e económicas. Uma vez que as soluções frugais são acessíveis e funcionais, estas são mais fáceis de incorporar em produtos/serviços que satisfaçam as necessidades básicas devido à sua simplicidade.

Até 2030 é esperado que 95% do crescimento global da população tenha lugar em mercados emergentes (Kharas, 2010). De acordo com Kondis e Stehli (2014), estes mercados enormes estão à procura de novas soluções ou de soluções existentes entregues de forma inovadora, proporcionando uma elevada oportunidade de negócio que atualmente está a ser mal explorada pelas empresas. Chakravarthy e Coughlan (2011) acrescentam que essa oportunidade de negócio está avaliada em mais de 7 biliões de dólares, e pode duplicar na próxima década, sendo que só a Índia e a China representam 40% do crescimento.

Segundo Soni (2013), as duras condições ambientais dos países em desenvolvimento, assim como a falta de infraestruturas físicas ou de fornecimento de energia, potenciam as poucas fontes de energia existentes (ex: energia solar) e o desenvolvimento de soluções ecológicas e sustentáveis, e é aí que as novas inovações frugais podem ser essenciais.

Apesar de não poderem ser comparados aos mercados emergentes, os mercados desenvolvidos também estão a mudar e o lançamento de produtos e serviços frugais é cada vez mais comum. As crises económicas foram o fator que mais contribuiu para isso e de acordo com Hossain (2016), os clientes nos países desenvolvidos estão cada vez mais a gastar menos dinheiro, e por isso procuram soluções mais acessíveis. Outro fator é a sensibilização para a sustentabilidade e impacto ambiental, que tem feito com a preferência por este tipo de produtos com características amigas do ambiente tenha aumentado (Rosca et al., 2016).

O sucesso futuro da inovação frugal depende não só dos clientes/mercados, mas também das áreas/ setores de atividade em que os produtos podem ser empregados.

De acordo com Hossain (2016), é possível encontrar na literatura uma lista de 117 de casos de inovação frugal, conforme apresentado no **Anexo 1**, e a **Tabela 4** apresenta uma análise sectorial feita pelo autor com base em 84 desses casos. Sobre os restantes 33, não foi encontrada informação suficientemente detalhada.

Tabela 4: Distribuição dos casos de inovações frugais por setor (adaptado de Hossain, 2016)

Setor	Casos (#)	Percentagem (%)
Saúde	28	33
Eletricidade	13	15
Transporte	8	10
Finanças	8	10
Tecnologias de informação e comunicação	7	8
Energia	5	6
Habitação	4	5
Água	4	5
Educação	2	2
Bens de consumo	2	2
Agricultura	2	2
Aeronáutica	1	1

3.2.4 Inovação frugal no sector da água

De acordo com Hyvärinen et al. (2016), a inovação frugal parece ter um grande potencial no setor da água, pois é capaz de servir os consumidores com recursos limitados em mercados emergentes e em desenvolvimento, devido à sua acessibilidade, boa qualidade e simplicidade.

Da lista de casos de inovações frugais (**Anexo 1**), nomeadamente no sector da água, destacam-se os casos mais conhecidos/mencionados: *Unilever's Pureit* e o *Tata Swach*. Ambos são dispositivos de tratamento de água no ponto de utilização para uso doméstico bastante acessíveis, capazes de fornecer água potável aos consumidores (Hyvärinen et al. 2016), evitando assim diversas doenças relacionadas com a água.

As tecnologias de purificação de água acessíveis têm vindo a evoluir a um ritmo acelerado, e empresas como Vestergaard Frandsen e Sawyer Products já desenvolveram dispositivos de purificação de água portáteis que podem purificar água instantaneamente (Soni e Krishnan,

2014). Na Índia, a Siemens desenvolveu um sistema de tratamento de águas residuais baseado na utilização de algas capaz de diminuir até 60% por cento a energia utilizada, comparativamente ao sistema de tratamento convencional (Tiwari e Herstatt, 2013). Também a Solvatten Foundation desenvolveu um sistema combinado portátil de tratamento e aquecimento solar de água, projetado para uso doméstico nos países em desenvolvimento. Este dispositivo é simples, funcional, seguro e é capaz de aquecer a água em 2-6 horas, sem necessidade de utilizar químicos ou eletricidade (Solvatten, 2015).

3.3 Conclusões do capítulo

O Design do produto desempenha um papel importante no desenvolvimento de um produto e deve ser cuidadosamente abordado para atender a todas as necessidades do cliente e também os interesses económicos da empresa. As dimensões a abordar no design de produto estão longe de ser consensuais, mas em geral a estética, a funcional, a simbólica e a ergonómica não devem ser esquecidas. A inovação frugal centra-se em soluções simples e robustas que podem equilibrar uma margem de lucro baixa com elevados volumes de vendas. Os produtos frugais têm vindo a ganhar algum reconhecimento pois são capazes de satisfazer o cliente do segmento de mercado emergente com soluções acessíveis e eficazes. Estes representam uma oportunidade de negócio lucrativa e podem promover o desenvolvimento sustentável das comunidades locais e do ambiente.

Através da investigação bibliográfica foi possível verificar que existem algumas tecnologias de purificação de água que estão relacionadas com a inovação frugal. No entanto, estas tecnologias continuam por não estar disponíveis em muitas das zonas de países em desenvolvimento em que são realmente necessárias, quer por falta de financiamento, quer por falhas de meios de distribuição ou infraestruturas indicadas para a sua produção. O ideal para essas zonas, seria um purificador que as próprias pessoas pudessem produzir em suas casas só com recursos locais.

Verificando-se então a existência de um *gap* na literatura que relacione tecnologias de purificação de água, inovação frugal e produção local e artesanal, a criação de um protótipo de um purificador de água numa ótica de inovação frugal que pudesse ser produzido por qualquer pessoa e apenas com recurso a produtos locais e fáceis de obter, pode ser o elemento-chave para que se alcance resultados surpreendentes relativamente à escassez de água potável.

4. Metodologia

O presente capítulo apresenta uma descrição pormenorizada da metodologia que será seguida ao longo desta dissertação de mestrado. A metodologia encontra-se dividida em seis passos, que correspondem às seis etapas principais do processo do design do produto. Essa metodologia será baseada na metodologia do processo de design proposta por Slack et al. (2007), e em cada etapa serão aplicados/ combinados diferentes métodos de acordo com diferentes autores. Na **Figura 14** é apresentado um esquema dos diversos passos da metodologia adotada, passos esses que serão explicados posteriormente de forma mais detalhada



Figura 14: Proposta de metodologia

1ª Etapa - Geração do conceito

Esta primeira fase tem como objetivo definir e compreender de forma clara o problema que necessita de uma solução. Para isso será usado o método da Árvore de Problemas que tem sido cada vez mais utilizado por diversos autores devido à sua simplicidade e objetividade (Vesely (2008), Ammani et al. (2010), Zimmerman (2014) e Unleash by Deloitte (2019)). Essa ferramenta ajuda a estabelecer uma visão geral realista do problema, identificando as causas e os efeitos mais importantes. Para a elaboração de uma Árvore de Problemas devem ser seguidas as etapas seguintes.

Passo 1 - Definir o objetivo: Definir de forma clara e específica o objetivo da Árvore de Problemas.

Passo 2 - Identificar os problemas: Identificar os principais problemas existentes no domínio de interesse e proceder à análise dos mesmos. Distinguir entre problemas existentes e impossíveis/ imaginários/ futuros. Se um problema for demasiado amplo ou geral, e se revelar difícil para análise, deverá ser eliminado.

Passo 3 - Selecionar um problema central: Selecionar um problema dos identificados anteriormente para análise. Pode envolver tentativa e erro até escolher a opção correta.

Passo 4 - Formular causas do problema: Discutir as causas do problema escolhido e construir o diagrama em árvore com base nelas. Esta etapa é levada a cabo para todos os problemas identificados. Quando uma combinação de causas é inerente a um efeito, então estas devem ser agrupadas.

Passo 5 - Desenhar o diagrama: Elaborar um diagrama de Árvore de Problemas que represente as relações causais. O problema central é colocado no cimo do diagrama e as respetivas causas abaixo.

Passo 6 - Avaliar o Diagrama: Rever toda a árvore de problemas, verificar a sua coerência e ajustar caso seja necessário.

Passo 7 - Identificar o problema: Identificar o problema central. O resultado da Árvore de problema deve ser preciso e perceptível.

A estrutura de uma Árvore de problemas é mostrada na **Figura 15**.

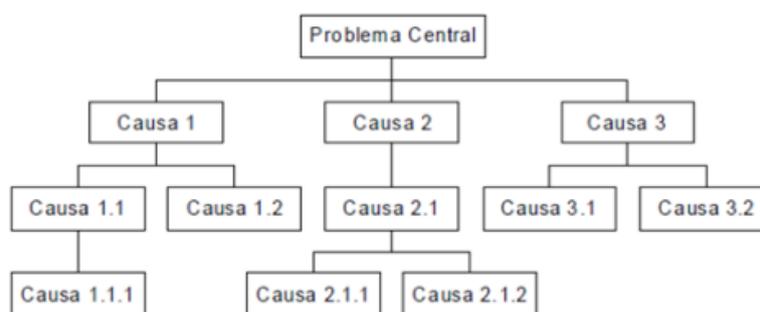


Figura 15: Estrutura de uma Árvore de Problemas (Cohen e Martinez, 2004)

Esta primeira etapa da metodologia permite assim apresentar uma ideia mais clara do problema em questão, e desse modo perceber quais as abordagens/ soluções que podem vir a ser úteis na sua resolução.

2ª Etapa – Proposta de solução

Com base na informação recolhida através da etapa anterior, serão propostas algumas soluções/alternativas para a resolução do nosso problema. Posteriormente, essas soluções serão avaliadas de acordo com um conjunto de critérios que são definidos com base no problema, no utilizador e na necessidade (Slack et al., 2016). A solução escolhida deve satisfazer todos esses critérios e ser o mais específica possível, nomeadamente em termos de características e materiais. Desse modo, uma análise multicritério deve ser utilizada para avaliar as diferentes soluções e selecionar a mais viável. De acordo com Tiwari et al. (2016), essa é uma análise simplista e eficaz, sendo bastante útil na resolução de problemas onde estão disponíveis diversas opções e a sua escolha está dependente de vários critérios. Esses critérios

de decisão raramente tem a mesma relevância e, portanto, o seu peso na solução final é diferente (Muller et al., 2011).

Uma ferramenta muito utilizada na Seleção de Conceitos é a matriz de *Pugh*. Trata-se de um método que ajuda a avaliar e comparar as diferentes soluções, conforme os critérios de decisão estabelecidos. De acordo com Thakker et al. (2009) e Deloitte (2019), são necessários cinco passos para a elaboração dessa matriz:

Passo 1 - Escolher os critérios de design: Identificar e definir uma lista de critérios independentes de avaliação de design e colocá-los na coluna da esquerda. Custo, durabilidade e facilidade de utilização são alguns exemplos destes critérios.

Passo 2 - Atribuir ponderações aos critérios: Atribuir ponderações aos vários critérios de design, consoante a importância de cada um deles para o utilizador. O método de ponderação escolhido para atribuir e decidir as ponderações da forma mais correta foi o Método Swing. Este é baseado numa análise quantitativa e de acordo com Goodwin e Wright (2014), é composto por três passos:

1. Ordenar os critérios por ordem de importância: O decisor começa por considerar uma alternativa fictícia com o pior desempenho em todos os critérios. De seguida escolhe qual o critério onde uma passagem do pior para o melhor desempenho (swing), resultaria num maior aumento da atratividade global da alternativa. Esse critério é nomeado como o mais importante, é excluído da lista e de seguida volta-se a repetir este processo para os restantes critérios, até que todos eles estejam ordenados por ordem de importância.

2. Atribuir pontuações aos critérios: Ao critério mais importante é atribuída uma pontuação de 100. Depois determinamos a importância relativa de cada um dos critérios quando comparados com o critério mais relevante, expressando um valor percentual entre 0 e 100. Por exemplo, atribuir o valor 90 a um critério, significa que esse critério tem 90 % da importância do critério mais importante.

3. Normalizar as ponderações: Por último, é necessário normalizar as pontuações obtidas na etapa anterior para obter as ponderações finais dos critérios. A soma das ponderações deve ser igual a 1, e o valor de cada uma delas deve estar dentro do intervalo [0,1]. Para isso é aplicada a seguinte fórmula:

$$w_i = \frac{s_i}{\sum_{i=1}^n s_i}, \forall i = 1,2,3,4,5 \quad [1]$$

Onde, s_i é a pontuação não normalizada de cada critério i ($i=1,2,3,4,5$), e w_i é o peso normalizado de cada critério i .

Passo 3 - Apresentar alternativas - Criar uma lista das diferentes alternativas de design que serão avaliadas e inseri-las na primeira linha. A primeira opção deve corresponder a uma coluna base, e como tal as respetivas ponderações são 0.

Passo 4 -Comparar de alternativas: Comparar as alternativas de design com a coluna base, de acordo com cada critério. Para comparar, é feita uma atribuição de sinais de mais (+) ou menos (-), caso a alternativa seja melhor ou pior do que a coluna base, respetivamente. No caso da alternativa e a coluna base serem consideradas iguais num critério, é atribuído o valor 0.

Passo 5 - Calcular a pontuação de cada alternativa: Para cada alternativa, multiplicar as classificações obtidas na etapa anterior pela respetiva ponderação e somar esses valores caso apresentem uma classificação positiva (+), ou subtraí-los caso apresentem uma classificação negativa (-). Esta etapa fornecerá a pontuação total de cada alternativa permitindo assim uma comparação entre as mesmas.

Passo 6 - Escolher uma alternativa: A alternativa com uma pontuação mais elevada é a escolhida. Caso não haja uma diferença clara, significa que não existe informação disponível suficiente para diferenciar as opções. Nesse caso será necessário reajustar os critérios/ponderações, ou obter mais informação acerca das opções.

Um exemplo de uma matriz de Pugh é apresentada na **Figura 16**.

		Status quo	Alternative A	Alternative B
Design Criteria	Weight	Details	Details	Details
Aesthetics	1	0	++	--
Durability	2	0	0	++
Cost	2	0	-	+
Ease of use	1	0	+	+++
	+	0	3	9
	0	4	1	0
	-	0	2	2
	Total	0	1	7

Figura 16: Representação de uma matriz de Pugh (Unleash, 2019)

3ª Etapa - Design

Depois de realizadas as etapas anteriores, a 3ª etapa está relacionada com o design do produto propriamente dito. Esta secção é composta por duas subsecções: a primeira diz respeito à criação de um protótipo virtual de modo a perceber os vários componentes do produto e a segunda diz respeito ao processo de montagem desse protótipo.

Criação de um protótipo (virtual)

Um protótipo é uma representação simplificada, física ou digital, de como será o produto/serviço e deve incorporar todas as considerações e decisões tomadas ao longo das fases anteriores. É algo tangível que nos permite explorar, avaliar e impulsionar uma ideia de negócio, mas produzido de forma mais barata, com muito menos esforço e facilmente modificável. Não necessita de ter todos os recursos do sistema final, mas deve permitir ao utilizador fazer uma testagem fácil e completa.

De acordo com Ulrich e Eppinger (2012), a prototipagem rápida com recurso a *softwares* informáticos pode reduzir o tempo de desenvolvimento do produto e/ou melhorar a qualidade do produto resultante. Além disso, essas tecnologias permitem a rápida construção de protótipos funcionais, e podem ser utilizadas para introduzir novos conceitos no produto de forma rápida e barata, aumentando a facilidade com que estes podem ser comunicados a outros membros da equipa, parceiros de desenvolvimento, ou potenciais clientes.

Os *softwares* com ferramentas CAD 3D são a alternativa mais utilizada e através deles os designers podem criar, exibir e modificar rapidamente desenhos tridimensionais de alta resolução. As modelações CAD 3D permitem visualizar facilmente a forma tridimensional do desenho do produto, criar imagens foto-realistas para avaliar a aparência do produto, calcular automaticamente propriedades físicas, tais como massa e volume, e gerar várias outras descrições pormenorizadas, que auxiliem na perceção e produção do produto, tais como tais como vistas transversais. Os modelos CAD 3D podem ainda ser utilizados para planear cuidadosamente a montagem final do produto e detetar potenciais interferências geométricas entre os componentes, podendo assim evitar custos com a produção de um ou mais protótipos com defeitos.

Segundo Ulrich e Eppinger (2012), a elaboração de um protótipo no desenvolvimento de um produto deve seguir quatro etapas:

Passo 1 - Definição o objetivo do protótipo: Esclarecer de forma clara a funcionalidade do protótipo e de como este pode solucionar os problemas do utilizador. Discutir as suas características e decidir quais os meios/métodos que serão utilizados para realizar os primeiros esboços e ajudar na visualização do resultado final.

Passo 2 - Estabelecer o nível de semelhança do protótipo: Esclarecer qual o grau de detalhe do protótipo relativamente ao produto final. Decidir se é necessário um protótipo físico ou se um protótipo virtual seria mais útil. Em alguns casos, um modelo anterior pode ser o ponto de partida e após algumas modificações, servir de protótipo.

Passo 3 - Delinear um plano experimental: É necessário identificar as variáveis da experiência, elaborar um protocolo do teste, enumerar as características que pretendem ser testadas e apresentar um plano de análise dos dados resultantes.

Passo 4 – Estabelecer prazos: Existem três datas que são particularmente importantes na elaboração de um protótipo. Deve ser definido a data em que os componentes estarão prontos para montar, a data em que o protótipo estará pronto para ser testado, e a data em que os testes devem estar concluídos e o protótipo final pronto a ser produzido.

Processo de produção

Uma vez definido o design final do produto e elaborado um protótipo virtual onde é possível compreender os seus componentes, será apresentado um processo de produção. Este é

composto por um sistema de ações que estão interrelacionadas de forma dinâmica e que estão orientadas para a transformação de matérias-primas em produtos finais.

É apresentado um *flow chart* de modo a compreender de uma forma muito simplificada como podemos obter/ fabricar os diferentes componentes constituintes do produto, com base em produtos locais bastante acessíveis, e a montagem final do produto também é explicada em detalhe, passo a passo.

4ª Etapa – Avaliação e melhoria do design

Depois de realizar todas as fases anteriores, o produto deve estar pronto para ser formalmente apresentado e avaliado por potenciais utilizadores de modo a compreender a sua viabilidade e/ou necessidade de melhoria. Neste caso, a utilização de um grupo focal parece ser o método mais indicado para obter um *feedback* de uma forma mais rápida e rentável. Os grupos focais são um método de investigação qualitativa popular onde um facilitador guia um grupo de cinco a doze participantes pré-selecionados numa entrevista de grupo, com o objetivo de compreender uma vasta gama de opiniões/perspetivas. De acordo com Wilson (2013), o grupo focal deve ser composto por cinco a doze pessoas que devem ser escolhidos com o objetivo de contribuir ativamente para a melhoria do produto, partilhando qualidades ou defeitos relevantes sobre o tema a ser discutido.

Adaptado da investigação de Krueger e Casey. (2002), o procedimento de um grupo focal deve seguir os seguintes passos:

Passo 1 – Clarificar o objetivo do estudo: Definir de forma clara o assunto ou problema que será avaliado no grupo focal, e também o objetivo e a finalidade do grupo-alvo.

Passo 2 - Recrutar os participantes: Os participantes do grupo focal devem ser escolhidos de acordo com o problema e os objetivos de investigação definidos no Passo 1. Deve ser um grupo diversificado em termos de idade, sexo, e com conhecimentos ou interesses sobre o produto que lhes permitam dar contributos úteis.

Passo 3 - Escolher um moderador: O moderador deve ser escolhido para ser capaz de se concentrar apenas na comunicação e competências interpessoais.

Passo 4 - Escolher as questões: Decidir o conjunto de perguntas importantes a serem colocadas aos participantes do grupo focal.

Passo 5 - Conduzir o grupo focal: Conduzir o grupo focal de acordo com o objetivo do estudo e as questões desenvolvidas. O moderador deve fornecer uma apresentação introdutória e algumas informações ou regras gerais.

Passo 6 - Analisar e interpretar os dados: Analisar os dados qualitativos relevantes, provenientes da informação discutida e relatar resultados.

5ª Etapa – Modelo de Negócio

A última etapa passa pela criação de um modelo de negócio, que será crucial para o lançamento do produto no mercado. Deste modo, serão apresentados os passos necessários para a elaboração do modelo de negócio centrado no lançamento de um produto sustentável. O modelo utilizado é o *Tripled Layer Business Model Canvas*, apresentado por Joyce e Paquin (2016), e segue três passos principais que correspondem aos três níveis do modelo: económico, ambiental e social.

Nível económico: Neste nível é necessário definir a proposta de valor para o cliente, segmentar o mercado alvo, estabelecer a cadeia de valor do produto, escolher fornecedores e prever custos e receitas



Figura 17: Nível económico do Business Model Canvas

Nível social: Nesta fase é necessário definir os valores sociais envolvidos, as comunidades abrangidas, a cultura social envolvida, o alcance do produto, os consumidores finais e os impactos e benefícios sociais.

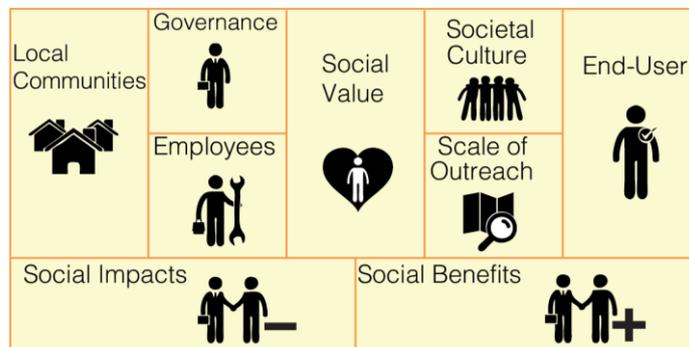


Figura 18: Nível social Business Model Canvas

Nível ambiental: Esta etapa passa pela definição dos materiais e métodos de produção utilizados, e dos impactos e benefícios ambientais previstos para o produto na fase de utilização e fim de vida.

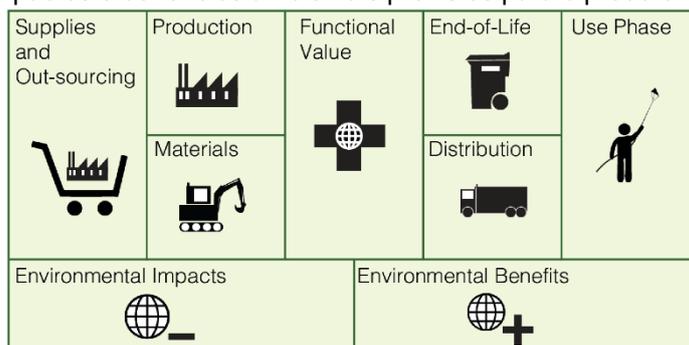


Figura 19: Nível ambiental do Business Model Canvas

5. Análise e discussão de resultados

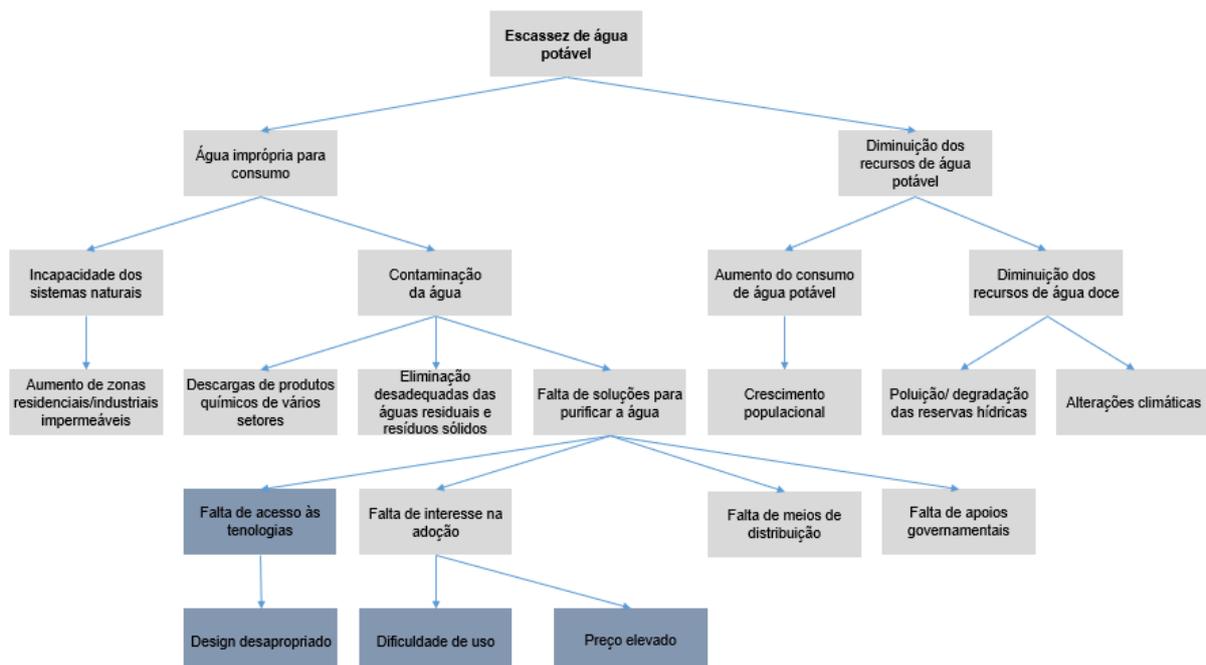
O presente capítulo encontra-se dividido em cinco secções, sendo que cada uma delas corresponde a uma das etapas principais introduzidas no capítulo da metodologia. A secção 5.1 apresenta a fase da Criação do Conceito e a secção 5.2 apresenta a fase da Proposta de solução. A Secção 5.3 descreve o Design do produto, onde é elaborado um protótipo virtual, sendo este avaliado e melhorado na secção 5.4. Por último na secção 5.5 é apresentado um modelo de negócio.

5.1. Criação do conceito

Nesta primeira etapa, procedeu-se à elaboração de uma árvore de problemas seguindo as ideias apresentadas pelos vários autores mencionados na Revisão da Literatura (Vesely, 2008; Ammani et al., 2010; Zimmerman J., 2014). São também apresentadas algumas considerações relevantes assim como uma breve explicação/ descrição da árvore.

5.1.1 Árvore de Problemas

A árvore de problemas foi elaborada com base nos contributos de um grupo de potenciais clientes/ peritos no tema e na informação recolhida a partir da literatura. Esse grupo foi composto por cinco elementos de diferentes faixas etárias que se reuniram e realizaram um *brainstorming* de modo a identificar as principais causas possíveis da escassez de água potável no mundo. De modo a explorar melhor as causas mais específicas subjacentes a cada problema, foi utilizada a



regra dos 5 Ws (*what, when, where, who, why*). Essa regra consiste num processo de questionamento iterativo para responder ao quê, quando, onde, quem e porquê de cada um dos problemas. Através da elaboração desta árvore de problemas foi possível obter conhecimentos relevantes para alcançar os elementos centrais do problema em questão, e a **Figura 20** mostra uma representação dessa árvore.

Através da observação da **Figura 20**, é possível constatar que a árvore é composta por 6 níveis de detalhe:

Nível 1: Corresponde ao problema da escassez de água potável. Esta é a preocupação superficial cujas causas são detalhadas em cada um dos níveis seguintes.

Nível 2: Com base no nível superior, são identificadas duas causas principais: Diminuição dos recursos de água potável disponível e impropriedade da água para consumo. Apesar de parecerem interligadas, têm âmbitos de análise diferentes.

Nível 3: Neste nível, foram identificadas quatro causas para os problemas anteriores.

Relativamente à disponibilidade de recursos de água potável, esta tem diminuindo devido ao aumento da procura de água potável juntamente com uma diminuição dos recursos de água doce disponíveis. Apesar de há alguns anos, a água doce disponível parecer mais do que suficiente para satisfazer toda a procura existente durante milhares de anos, alguns comportamentos humanos têm posto isso em causa. Quanto à falta de qualidade da água para consumo, esta pode ser causada pela contaminação da água, ou pela incapacidade dos sistemas naturais para manterem a água limpa.

Nível 4: Observando os problemas no nível 3, é possível concluir que aquele que mais facilmente pode ser resolvido/ melhorado é a contaminação de água. A descarga de produtos químicos provenientes de várias indústrias e a eliminação desadequada de resíduos, aliada à inexistência de tecnologias/ infraestruturas apropriadas para a purificação, têm feito com que a contaminação da água seja um problema cada vez maior.

Nível 5: As principais razões para a falta de soluções purificadoras de água estão inteiramente ligadas às condições de vida dos países em desenvolvimento onde isso acontece. A falta de apoios por parte do governo, não incentiva o desenvolvimento de soluções para resolver este problema. Para além disso, as falhas nos meios de distribuição/ logística fazem com seja muito difícil qualquer tipo de tecnologia chegar às populações, sobretudo nas zonas mais rurais. E mesmo chegando, muitas das vezes as pessoas não tinham interesse na sua adoção.

Nível 6: No último nível de detalhe, percebemos que a falta de interesse na adoção de novas tecnologias purificadoras é causada pelos preços elevados que são praticados nesse mercado, pelas dificuldades de utilização das tecnologias existentes ou pelo design desapropriado das mesmas.

De acordo com a lógica da árvore de problemas, para atingir a questão do Nível 1, cada nível inferior deve ser abordado primeiro. Assim, ao abordar as causas inferiores da árvore que são mais específicas e conseqüentemente mais simples de abordar (Nível 5 e 6), é mais fácil atingir

as causas superiores. Depois de analisados os seis níveis de detalhe, podemos constatar que o problema da escassez de água potável está relacionado com a impropriedade da água para consumo. A contaminação da água destaca-se como a principal causa dessa impropriedade, sobretudo nos países em desenvolvimento, e a falta de soluções adequadas para a sua purificação é uma temática cada vez mais abordada nesse sentido. De forma a colmatar essa falta, e tendo em conta as causas destacadas no nível 5 e 6, a criação de um protótipo virtual de um purificador de água adequado é uma abordagem que pode vir a ter um impacto significativo no desenvolvimento de novas soluções que contribuirão para uma melhoria de qualidade de vida de muitas pessoas.

Devido ao elevado número de tecnologias de purificação existentes apresentadas anteriormente no capítulo 2, o primeiro passo será a seleção da mais adequada para utilizar no nosso protótipo tendo em conta o contexto do problema. Essa seleção é apresentada na seção seguinte.

5.2. Proposta de solução

5.2.1 Seleção da solução

Tendo em conta a diversidade de filtros de água existentes no mercado foi elaborada uma lista de critérios de acordo com os quais os filtros podem ser classificados/ diferenciados, permitindo assim a seleção do mais apropriado para o nosso problema. Esses critérios foram definidos tendo por base os trabalhos de Peter-Varbanets et al. (2009), Loo et al. (2012) e Venkatesha et al. (2020) e dentro duma ótica da frugalidade como é possível observar na **Tabela 5**. Seguindo a lógica dos autores, os mesmos são apresentados e descritos abaixo de uma forma resumida, explicando também as escalas que serão usadas para cada um deles:

Tabela 5: Relação entre os critérios de seleção e os princípios da frugalidade

Critérios de seleção	Princípios da frugalidade associados
(i). Nível de purificação	Funcional
(ii). Custo	Acessível
(iii). Taxa de rendimento	Funcional
(iv). Facilidade de utilização	Facilidade de utilização
(v). Manutenção	Robusto
(vi). Necessidade energética/ dependência	Facilidade de utilização
(vii). Portabilidade/ implementação	Facilidade de utilização
(viii). Aceitação social	Local
(ix). Sustentabilidade ambiental	Local
(x). Necessidade da cadeia de abastecimento	Local

(i) Nível de purificação contra agentes patogénicos

O nível de purificação é a eficiência da remoção de micro-organismos e agentes patogénicos. Esta é uma das necessidades críticas em zonas remotas de países menos desenvolvidos. No

entanto, a tendência indica que um nível de purificação mais alto implica um custo mais elevado (Peter-Varbanets et al., 2009). Para este critério é atribuído o símbolo + à tecnologia purificadora, caso a água purificada por esta seja microbiologicamente segura, de acordo com as normas da OMS, sendo o tratamento efetuado corretamente. Além desse, é atribuído o símbolo 0 caso a água só seja segura sob determinadas condições (como por exemplo se a água não for turva) ou se a tecnologia for eficiente contra a maioria das bactérias e microrganismos patogênicos.

(ii) Custo

Nas zonas mais problemáticas, o custo é um fator crucial a ter em consideração na adoção de qualquer purificador de água, uma vez que a população é composta na sua maioria por agregados familiares muito pobres. Cada purificador tem um limite de tempo ou um limite de litros de água, dentro do qual a eficiência operacional do purificador é aceitável. Deste modo o custo deve ter em conta os litros de água que o purificador consegue purificar (Venkatesha et al., 2020). Neste critério, é atribuído o símbolo “+” às alternativas têm um baixo custo inicial e operacional, o símbolo “0” às alternativas que têm um custo intermédio quando comparadas com as alternativas disponíveis no mercado, e um o símbolo “-” às alterativas que têm um valor acima da média das alternativas disponíveis no mercado.

(iii) Taxa de produção

A taxa de produção está relacionada com a quantidade de água que é filtrada num determinado espaço de tempo. Quanto mais litros de água são filtrados, melhor é a sua taxa de produção. Se o purificador tiver uma taxa de produção superior a 10 L/hora é atribuído o símbolo “+”, se for entre 0,1 L/hora e 10 L/hora é atribuído o símbolo “0”, e se for inferior a 0.1 L/hora é atribuído o símbolo “-” (Peter-Varbanets et al., 2009).

(iv) Facilidade de utilização

Se um purificador for prático e fácil de utilizar, a probabilidade de um uso contínuo e prolongado é maior. A maioria dos purificadores são fáceis de usar pois requerem apenas o abastecimento de água e a recolha de água purificada (Peter-Varbanets et al., 2009). A estes é atribuído o símbolo “+” neste critério. No entanto, em alguns casos, como a ebulição, são necessárias algumas tarefas adicionais, tais como a fervura da água, e por isso é lhes atribuído o símbolo “0” na “Facilidade de utilização”.

(v) Manutenção

A manutenção adequada é essencial para prevenir o mau funcionamento de um purificador. É necessária alguma forma de manutenção para todos os purificadores, sendo que o mais comum é a simples limpeza dos recipientes de retenção de água. Outras operações de manutenção incluem a lavagem posterior dos filtros, a substituição de produtos químicos ou a substituição de membranas que podem ser mais dispendiosas (Peter-Varbanets et al., 2009). Neste critério, é atribuído o símbolo “+” caso o purificador não necessite de manutenção praticamente nenhuma

ou não tenha um mau funcionamento na ausência de manutenção. Caso requeira manutenção/substituições baratas é atribuído o símbolo “0”. Se depender de manutenções caras de pouco em pouco tempo é atribuído o símbolo “-”.

(vi) Necessidade energética ou dependência

Os diferentes métodos de purificação dependem de diferentes fontes energéticas, e este é um atributo muito importante a ter em conta, principalmente nas zonas mais pobres e desfavorecidas dado as várias restrições energéticas dos ambientes rurais. Algumas tecnologias requerem energia elétrica ou energia solar, outras trabalho mecânico ou pressão, e as mais simples dependem apenas da gravidade (Peter-Varbanets et al., 2009). Deste modo, aos métodos que não necessitem de energia ou que dependam apenas da gravidade para funcionarem será atribuído o símbolo “+”. Àqueles que dependam de energia solar ou de algum esforço mecânico será atribuído o símbolo “0”. Por último, caso dependam de combustível ou eletricidade será atribuído o símbolo “-”.

(vii) Portabilidade/facilidade de implementação

A facilidade de implementação é bastante relevante em circunstâncias remotas. Se um purificador for simples, rápido e fácil de implementar, mais rápido pode ser utilizado. Consequentemente, a sua portabilidade também é maior, pois é possível mudar o purificador para diversos lugares e implementá-lo de maneira simples (Loo et al., 2012). A estes purificadores é atribuído o símbolo “+”. Por outro lado, se o purificador for muito sofisticado pode dificultar a sua utilização em lugares distintos, pois pode ser mais difícil de transportar devido ao seu volume, ter um tempo de implementação maior, ou ser frágil e propenso a danos durante o transporte. A estes purificadores é atribuído o símbolo “0”.

(viii) Aceitação social

A aceitação sociocultural é um atributo a ter em consideração que não pode ser ignorado na adoção de um purificador de água. Acaba por estar bastante relacionado com vários atributos como a facilidade de uso, manutenção e dependência. Tendo por base zonas remotas de países em desenvolvimento, podemos dizer que se o purificador for baseado nas tradições ou já for praticado numa determinada região é lhe atribuído o símbolo “+”. Se os estudos disponíveis demonstraram uma boa aceitação social em relação a um determinado purificador numa região semelhante é lhe atribuído o símbolo “0”. Se os estudos disponíveis forem contraditórios, ou os resultados dependerem da região estudada devido aos investimentos elevados e às dependências é atribuído o símbolo “-” (Peter-Varbanets et al., 2009).

(ix) Sustentabilidade ambiental

A utilização de qualquer purificador tem implicações ambientais que é bastante importante considerar. Às tecnologias purificadoras mais sustentáveis que são feitas à base de materiais disponíveis localmente, usam menos produtos químicos e são menos dependentes de energias

não renováveis são lhe atribuídas o símbolo “+”. Caso o purificador dependa do uso de produtos químicos ou precise de componentes que não podem ser obtidos localmente devido a sua sofisticação é lhe atribuído o símbolo “0”. Por último, se forem menos sustentáveis utilizando tecnologia muito sofisticada ou tenham um consumo energético/ recursos (ex: madeira) elevado, podendo assim causar danos ambientais significativos no futuro é atribuído o símbolo “-” (Venkatesha et al., 2020).

(x). Necessidade da cadeia de abastecimento

As áreas onde os purificadores são mais essenciais são por vezes bastante remotas, onde as cadeias de abastecimento precisam de ser trabalhadas a partir de cidades próximas. Para que alguns purificadores possam ter manutenção adequada ou substituir componentes, é necessário que exista uma cadeia de abastecimento organizada (Loo et al., 2012). Se o purificador não precisar de nenhum material substituto é atribuído o símbolo “+” neste critério. Se necessitarem de fornecimento ocasional de algum componente é atribuído o símbolo “0”. Se necessitarem de uma forte cadeia de abastecimento é atribuído o símbolo “-”

Uma vez escolhidos os critérios de seleção, e de acordo com o método Swing Weighting proposto por Goodwin e Wright (2014), procedeu-se à ordenação dos mesmos por grau de importância. Foi então reunido um grupo de potenciais clientes composto por cinco elementos para contribuir nesta análise de decisão, decidindo quais os critérios mais e menos importantes. Desse modo, foi feita a seguinte pergunta ao grupo: “Considerando-se uma situação hipotética em que uma alternativa está com a pior avaliação possível em todos os critérios, qual seria o critério que vocês melhorariam com o objetivo de elevar o desempenho dessa alternativa?”. Após alguma argumentação, o grupo chegou a uma conclusão e o *Nível de Purificação* foi o critério escolhido, sendo assim considerado o mais importante. De seguida, excluiu-se esse critério e repetiu-se a pergunta. O critério selecionado nessa segunda ronda foi considerado o segundo mais importante, e repetiu-se esta sequência até que todos os critérios fossem ordenados. Como resultado desta etapa, foi obtida uma lista ordenada de critérios, do mais importante para o menos importante (**Tabela 6**).

Tabela 6: Ordenação dos critérios por importância

Critério	Ordenação
Nível de purificação	10
Custo	9
Taxa de rendimento	8
Facilidade de utilização	7
Manutenção	6
Necessidade energética ou dependência	5
Portabilidade/facilidade de implementação	4
Aceitação social	3

Sustentabilidade ambiental	2
Necessidade da cadeia de abastecimento	1

1- Menos importante 10- Mais importante

Com a ordem dos critérios definida, o passo seguinte foi a atribuição de pesos aos critérios. Mais uma vez, seguiu-se o procedimento do método de ponderação Swing Weighting, e foi atribuído o valor 100 ao critério mais importante. Em seguida, o grupo de potenciais clientes foi questionado sobre a importância relativa de cada um dos critérios quando comparados com o critério mais relevante, expressando um valor percentual entre 0 e 100. A **Tabela 6** mostra um resumo dos critérios ponderados e devidamente normalizados.

Tabela 7: Ponderação dos critérios

Critério	Pontuações	Ponderação normalizada
Nível de purificação	100	0.153
Custo	95	0.145
Taxa de rendimento	90	0.137
Facilidade de utilização	70	0.107
Manutenção	65	0.099
Necessidade energética/ dependência	65	0.099
Portabilidade/facilidade de implementação	45	0.069
Aceitação social	45	0.069
Sustentabilidade ambiental	40	0.061
Necessidade da cadeia de abastecimento	40	0.061

Foi permitido ao grupo atribuir o mesmo grau de importância para dois ou mais critérios, como por exemplo os critérios Manutenção e Necessidade energética/ dependência que foram considerados igualmente relevantes, tendo ambos 65% da importância do Nível de purificação. Uma vez atribuídos os pesos aos critérios, foi necessário decidir quais as tecnologias que seriam

avaliadas. O esquema apresentado na seção 2.2.2 representa uma abordagem generalizada das tecnologias de purificação disponíveis. Contudo, de modo a adotar uma abordagem mais prática na identificação do purificador de água adequado para o nosso problema, foram apenas escolhidos para revisão os purificadores com maior potencial para ser utilizados com base nos critérios e para os quais estava disponível informação suficiente.

Após uma revisão da literatura a partir de múltiplas referências, mas principalmente de Peter-Varbanets et al. 2009 e Loo et al. 2012, chegou-se à conclusão de que os purificadores usados para comparação e avaliação seriam os seguintes:

- Fervura;
- Desinfecção solar;
- Tratamento Ultravioleta;
- Desinfecção por cloro;
- Carvão ativado;
- Filtro de areia;
- Filtro de cerâmica;
- Ultrafiltração;
- Osmose Inversa.

De seguida, de maneira a avaliar cada alternativa relativamente aos vários critérios foi utilizada uma matriz Pugh. Para isso, é necessária uma alternativa com um desempenho neutro em todos os critérios, que servirá como base de comparação. De acordo com a metodologia, a atribuição de um sinal "+" representa um melhor desempenho dessa alternativa no critério em questão quando comparada com a alternativa fictícia. Ao contrário, um sinal "-" significa que a alternativa tem um desempenho pior nesse critério.

Depois de recolhidas as opiniões do grupo de decisão sobre as diversas alternativas relativamente aos critérios definidos, foi então possível elaborar a Matriz de Pugh apresentada na **Tabela 8**.

Tabela 8: Matriz de Pugh

Crítérios	Peso	Base	Fervura	Desinfecção solar	Tratamento Ultravioleta	Desinfecção por cloro	Carvão ativado	Filtro de areia	Filtros de cerâmica	Ultrafiltração	Osmose Inversa
Nível de purificação	0.153	0	+	0	0	+	0	0	0	+	+
Custo	0.145	0	0	0	0	0	+	+	+	-	-
Taxa de rendimento	0.137	0	+	+	+	+	0	0	0	+	+
Facilidade de utilização	0.107	0	0	0	+	0	+	+	+	+	+
Manutenção	0.099	0	+	+	0	+	+	+	0	-	-
Dependência energética	0.099	0	-	0	-	+	+	+	+	0	-
Portabilidade/facilidade de implementação	0.069	0	+	+	0	+	0	0	0	+	0
Aceitação social	0.069	0	+	-	0	-	0	0	0	0	-
Sustentabilidade ambiental	0.061	0	-	+	0	0	0	+	+	-	-
Necessidade da cadeia de abastecimento	0.061	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
Total	1	0	0,367	0,297	0,145	0,427	0,45	0,511	0,412	0,161	-0,076

Com base na avaliação anterior, foi então possível, possível concluir que a Desinfecção, o Carvão ativado, a Areia e a Cerâmica são as tecnologias de purificação com as pontuações mais elevadas, e que conseqüentemente seriam as mais apropriadas para utilizar numa solução para o nosso contexto nos países em desenvolvimento.

Em muitos desses países, as principais fontes de água são os rios e lagoas, e estas encontram-se contaminadas por bactérias, vírus, químicos e metais. Estes contaminantes são responsáveis pela transmissão de inúmeras doenças, pelo que a principal tarefa do nosso produto é a sua eliminação. Deste modo, foi realizada uma análise mais profunda às quatro tecnologias de purificação destacadas anteriormente referente à sua eficácia na remoção dos principais contaminantes da água. Essa análise é apresentada na **Tabela 8**.

Tabela 9: Contaminantes filtrados pelas várias tecnologias

Principais contaminantes	Areia	Desinfecção	Carvão ativado	Cerâmica
Vírus/ bactérias	Remove eficazmente	Reduz significativamente	Sem remoção ou mínima	Remove eficazmente
Mau sabor/ odor	Reduz significativamente	Reduz significativamente	Remove eficazmente	Reduz significativamente
Arsénio	Reduz significativamente	Remove eficazmente	Sem remoção ou mínima	Sem remoção ou mínima
Cloro	Sem remoção ou mínima	Sem remoção ou mínima	Remove eficazmente	Sem remoção ou mínima
Fluoreto	Sem remoção ou mínima			
Metais pesados	Reduz significativamente	Sem remoção ou mínima	Reduz significativamente	Sem remoção ou mínima
Sedimentos	Remove eficazmente	Remove eficazmente	Remove eficazmente	Remove eficazmente
Radon	Sem remoção ou mínima	Sem remoção ou mínima	Remove eficazmente	Sem remoção ou mínima
COV's	Reduz significativamente	Reduz significativamente	Remove eficazmente	Sem remoção ou mínima

Remove eficazmente
 Reduz significativamente
 Sem remoção ou mínima

Como foi possível observar, nenhuma das tecnologias remove eficazmente todos os contaminantes presentes na água. A areia remove vírus e bactérias, metais pesados e outros sedimentos. A desinfecção com cloro pode remover eficazmente o Arsénio que é o contaminante químico mais presente na água. O carvão ativado remove a maioria dos contaminantes, mas não é eficaz na remoção do arsénico, fluoreto, vírus e bactérias. Estes últimos podem ser eliminados com sucesso através de filtros de cerâmica. Assim, é possível constatar que a seleção de uma única tecnologia para utilizar no nosso produto seria difícil.

No entanto, foi possível concluir que uma combinação das várias tecnologias apresentadas anteriormente seria capaz de eliminar a grande maioria das bactérias, vírus, sedimentos, COVs, metais pesados e produtos químicos presentes na água e reduzir o seu mau odor e gosto. Olhando numa perspectiva da frugalidade, facilmente concluímos que todas as tecnologias são adequadas na medida em que são funcionais, acessíveis e fáceis de usar. Deste modo, uma

combinação de areia, carvão ativado, cerâmica e desinfetante será o nosso ponto de partida para a elaboração do design dum purificador de água.

5.3 Design

5.3.1 Criação de um protótipo virtual

Uma vez escolhidas as tecnologias de purificação a utilizar procedeu-se à elaboração do design do nosso purificador. O design desempenha um papel crucial no desenvolvimento de um produto, e este não foi consensual, passando por diversas iterações até chegar ao design final. Neste âmbito, foram desenvolvidos alguns desenhos virtuais 3D para idealizar o aspeto do purificador com recurso ao software Solid Edge. Posteriormente, foi também utilizado o software Adobe Photoshop para realizar algumas edições nos desenhos obtidos.

O primeiro design retrata uma ideia bastante simples e consiste basicamente na junção de dois potes de cerâmica porosa e um recipiente de armazenamento de metal ou plástico. O primeiro pote teria no seu interior areia para filtrar as impurezas maiores. O segundo teria carvão para adsorver certos micróbios e pequenos sedimentos. Por último, no recipiente de armazenamento seria colocado desinfetante (ex: cloro). Deste modo, e como é possível observar na **Figura 21**, a água contaminada seria colocada no pote superior, e iria escorrer através dos potes até chegar ao recipiente passando assim por três fases de tratamento de água.



Figura 21: Design 1 do purificador

De acordo com este design, a fase do carvão ativado estaria acima da fase do desinfetante. No entanto, concluímos que seria melhor inverter a ordem destas duas fases, de modo que o carvão ativado adsorvesse também o excesso de cloro, uma vez o seu consumo excessivo pode ser cancerígeno.

Uma vez que os potes de cerâmica podiam tratar de remover as impurezas maiores e o carvão ativado e o desinfetante remover outros contaminantes, a camada de areia acabou por ser eliminada e no seu lugar foi colocado o desinfetante. Deste modo, garantiu-se que o que o carvão ativado eliminaria o excesso de cloro no segundo pote e a água purificada acabaria por ficar armazenada no último recipiente.

Para além disso, o facto de os potes serem porosos poderia levar à possibilidade de a água fluir para fora dos mesmos pelas superfícies laterais em vez de fluir para o pote subsequente. Assim, foram realizadas algumas alterações nas formas e tamanhos dos potes de forma que estes encaixassem uns nos outros. A **Figura 22** apresenta um 2º design onde é possível observar que o pote com o desinfetante é colado dentro do pote do carvão, e este é colocado dentro do recipiente de armazenamento.



Figura 22: Design 2 do purificador

No entanto, os potes de cerâmica apresentados acabam por ter uma forma complexa, principalmente quando se trata de algo que deve ser facilmente replicável de forma manual por pessoas de zonas com baixos recursos. Para além disso, de acordo com o Design 2 é possível constatar que seria necessário retirar os dois potes de cerâmica para recolher a água purificada ou então de alguma forma fazer um furo no recipiente de armazenamento, que pudesse ser aberto e fechado, sendo esta uma opção muito pouco viável.

Sendo a cerâmica um componente frágil e uma vez que o seu excesso também poderia afetar a robustez do purificador, optámos por substituir os potes por discos que são bem mais fáceis de replicar. Contudo, ao contrário dos potes, os discos não encaixam uns nos outros e desse modo não seria fácil segurá-los (por cima do carvão) num recipiente cilíndrico. Assim concluímos uma estrutura envolvente que afunilasse na parte inferior seria mais apropriada.

Nesse aspeto, e tendo em conta que existem numerosas garrafas de água usadas e não reaproveitadas, será utilizada uma garrafa como estrutura envolvente onde serão colocados os restantes componentes facilitando também a portabilidade do purificador. Deste modo, a água não é armazenada no purificador, mas sim num recipiente qualquer que se pode colocar por de baixo do purificador. Para além disso, a garrafa poderá ser suspensa com o recurso a um cordão, e terá na sua extremidade inferior, um pedaço de tecido atado que impede que o carvão saia pela tampa, permitindo assim apenas a passagem da água filtrada.



Figura 23: Design final do purificador

Resumidamente, a água é vertida através do topo, passa por ambos os métodos de purificação, (desinfetante, cerâmica e carvão) e sai pela abertura inferior para um recipiente de armazenamento. Os elementos de filtração podem ser facilmente substituídos quando deixarem de funcionar.

Uma vez elaborado o design final para o nosso protótipo, o passo seguinte passa pela explicação dos seus componentes e do seu processo de montagem. Dado que o produto deve ser produzido por mão-de-obra não especializada, é importante fornecer um produto fácil de montar por qualquer pessoa, independentemente da idade ou género. Este processo tem em conta as limitações de recursos existentes nas zonas mais necessitadas, e desse modo tenta ao máximo utilizar materiais que são fáceis de obter.

5.3.2 Processo de produção

Com base na secção anterior foi definido que o purificador será composto por quatro componentes principais independentes: uma garrafa, carvão ativado, cerâmica porosa e desinfetante. A **Figura 24** mostra uma pequena representação desses componentes.

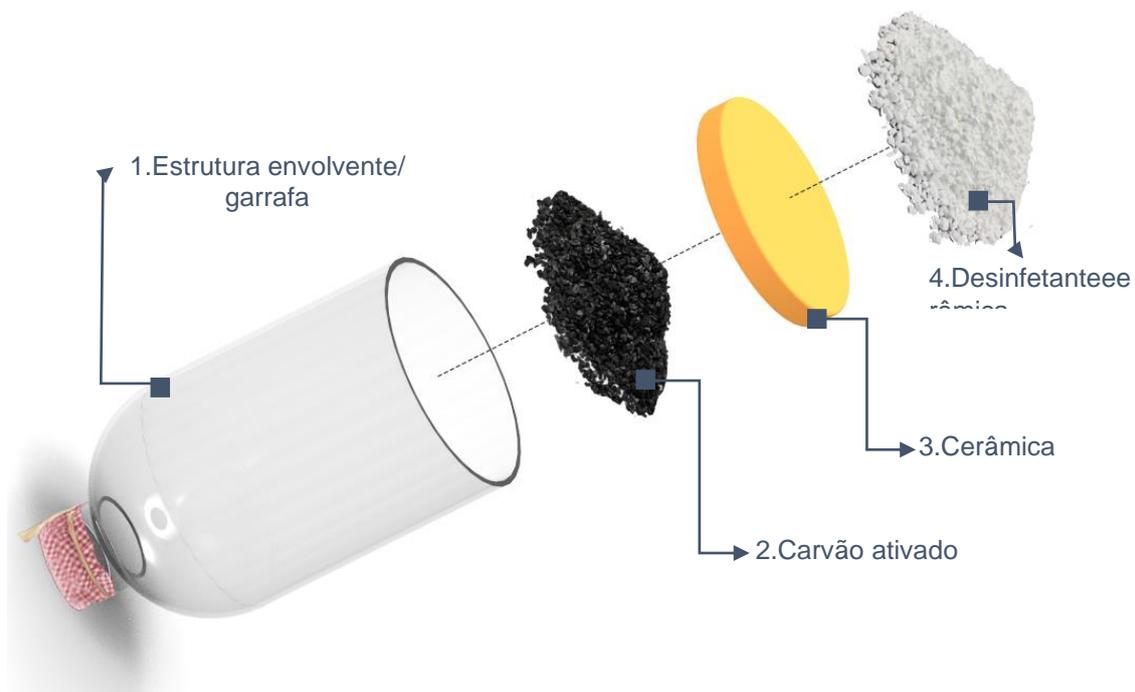


Figura 24: Vista explodida dos componentes que constituem o purificador

A preparação e montagem dos vários componentes deve ser feita através de algumas atividades independentes. Assim, para compreender melhor essas atividades necessárias para alcançar o produto final, a **Figura 25** mostra um fluxograma do processo de produção que deve ser seguido para preparar e combinar os vários componentes. Posteriormente, o processo para obter cada componente é explicado com maior detalhe.

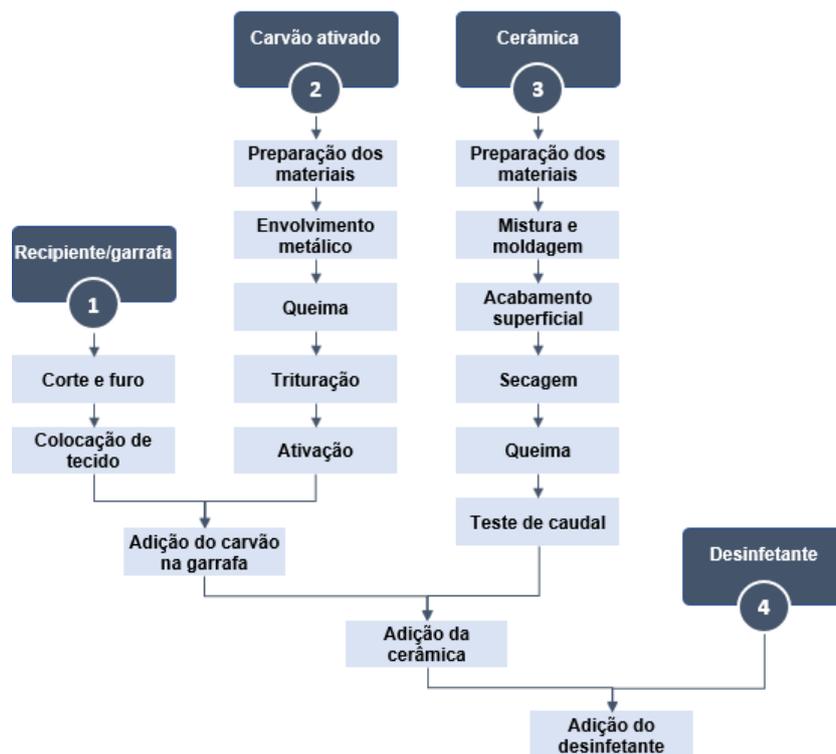


Figura 25: Diagrama de fluxo de processo de produção do purificador

1. Garrafa/recipiente

A garrafa foi a estrutura envolvente escolhida pelas razões referidas acima e os restantes componentes serão colocados no seu interior. No entanto, a garrafa é apenas uma ideia/sugestão e pode ser substituída por outro elemento do mesmo género. É necessário realizar algumas modificações na garrafa:



Figura 26: Etapas processo fabrico da garrafa

Corte e Furos

Para começar, é necessário cortar a parte de baixo da garrafa, para que depois de virada do avesso (como é visível na **Figura 23**), ser o ponto de entrada da água. Serão também feitos dois furos laterais na zona do corte, para que com um cordão, o purificador possa ser pendurado em qualquer sítio e por baixo ser colocado um recipiente de armazenamento.

Colocação de tecido

Por último, deve ser colocado e atado na zona da rolha (que é retirada), um bocado de tecido que permite apenas a passagem da água, impedindo que o carvão caia.

2. Carvão ativado

O carvão ativado pode ser criado a partir de diversos materiais tais como cascas de coco, madeiras ou cortiça, desde que estes passem por um processo de queima e tratamento adequados. Esse processo é constituído por 5 etapas (**Figura 27**) e essas são resumidas abaixo.



Figura 27: Etapas do processo de fabrico do filtro de carvão ativado

Preparação dos materiais

Para começar, são precisos pequenos pedaços de madeira maciça e esta deve estar bem seca. Se esta não estiver disponível, pode ser substituída por outro material vegetal denso e fibroso, como cortiça ou cascas de coco, sendo este último bastante utilizado na África Oriental.

Envolvimento metálico

Os pedaços de madeira devem ser colocados num recipiente metálico e depois cobertos com uma tampa. Deve ser feito um pequeno orifício na tampa de modo a permitir a ventilação, mas que ainda assim limite o fluxo de ar para o interior do recipiente durante todo este processo.

Queima

De seguida deve acender-se uma fogueira e levar o recipiente metálico ao lume. A temperatura deverá estar suficientemente alta de modo a queimar todo o material no interior do recipiente, à exceção do carbono existente. Durante esse período, sairá fumo e gás pelo orifício na tampa.

Assim que deixar de sair, o carvão está pronto para ser retirado do lume. Depois de arrefecido, este deve lavado em água fria de modo a remover cinzas ou quaisquer detritos remanescentes.

Trituração

Depois de limpo, o carvão deve ser triturado em pó fino, pois se os pedaços forem demasiado grandes, poderá não ser tão eficaz. Depois disso, o carvão em pó deve ser deixado ao ar livre aproximadamente 24 horas até estar completamente seco para seguir em frente.

Ativação

Por último, para transformar o carvão vegetal em carvão ativado é necessária uma solução de cloreto de cálcio e água numa proporção de 1:3 respetivamente. No entanto, se for possível adquirir o cloreto, este pode ser substituído por lixívia ou sumo de limão. A quantidade suficiente é a necessária para submergir completamente o carvão em pó. Este deve ser colocado num recipiente e à medida que se vai adicionando pequenos incrementos do sumo de limão (ou da outra opção escolhida), vai-se misturando com uma colher até que a mistura atinja uma consistência pastosa. De seguida, tapa-se o recipiente e deixa-se repousar durante 24 horas. Depois, é preciso escoar a mistura, enxaguar e voltar a drenar o máximo de humidade possível. Por fim, o carvão vegetal é novamente colocado no recipiente metálico ou numa panela, volta a ir ao lume e após aproximadamente 2 horas está ativado.

3. Cerâmica

Os filtros de cerâmica são geralmente feitos á base de argila em pó, que pode ser obtida através de tijolos triturados, cascas de arroz e água. Esse processo é constituído por 6 etapas (**Figura 26**) e essas são resumidas abaixo.



Figura 28: Etapas do processo de produção do filtro de cerâmica

Preparação dos materiais

Os tijolos de argila são a principal fonte de matéria para o filtro de cerâmica, e devem ser triturados em pedaços muito pequenos até obter argila em pó. As cascas de arroz podem ser compradas previamente moídas ou ser moídas no local. Quanto menor o tamanho das cascas, menores serão os poros por onde a irá fluir.

Mistura dos materiais e moldagem da forma

Primeiramente, a argila em pó e as cascas de arroz moídas são misturadas manualmente a seco durante 5 minutos. Essa mistura deve ser feita com uma proporção de um para três (1:3), respetivamente. De seguida é adicionado 1.25L de água por cada kg de cascas de arroz e misturamos novamente a mistura durante mais 5 minutos para formar uma pasta moldável. Por último, a pasta é então moldada manualmente na forma que é apresentada na **Figura 24**.

Acabamento superficial

O acabamento superficial é fundamental para assegurar a eficácia do processo de filtragem da água. As superfícies de cerâmica devem ser raspadas com um objeto de plástico de modo a garantir uma superfície regular e sem fissuras.

Secagem

O filtro deve ser seco ao ar livre durante alguns dias para garantir que a humidade é completamente removida. O tempo de secagem depende do tamanho do filtro e do ambiente de secagem. É recomendada a colocação do filtro sob uma zona de sombra de modo a assegurar um processo de secagem uniforme. Uma vez que este esteja completamente seco e endurecido está pronto para ir ao forno.

Queima

Inicialmente, as formas de cerâmica são aquecidas a 100°C durante duas horas para secar o excesso de água no seu interior. Depois a temperatura é gradualmente aumentada para cerca de 866°C durante 8 a 10 horas, para que seja aplicado o tratamento térmico sobre material argiloso. As cascas de arroz também se queimam, criando assim pequenos poros que permitem a passagem de água.

Teste de caudal

Após a queima e arrefecimento, os filtros devem ser completamente imersos em água durante pelo menos 5 horas para assegurar uma saturação completa. Depois são cheios com água e mede-se a quantidade de água que é escoada em 1 hora. O caudal ideal é de 1,8 - 2,5L/ hora. Se o caudal for demasiado elevado, pode indicar fissuras internas no filtro e, portanto, uma filtragem ineficaz. Se o caudal for demasiado baixo, o filtro pode não ser útil devido à sua duração de filtração exagerada.

4. Desinfetante

O cloro é o produto mais indicado para o processo de desinfecção da água, principalmente em pequenas quantidades. A dose ideal de cloro é de aproximadamente 0.2 mg/L. O cloro pode ser adquirido em vendedores ambulantes ou ser fornecido pelos governos dos países em questão. Este funciona apenas como um *add-on* e se não for possível obtê-lo, o purificador pode ser usado sem qualquer problema.

Estando o protótipo virtual pronto e uma vez assimilado o processo de produção, o nosso produto está pronto para ser replicado. No entanto, de modo a evitar desperdício de tempo e recursos na produção de um produto que poderia não ser adequado para os consumidores, foi realizada uma avaliação/ melhoria para compreender se havia necessidade de modificar/reorganizar algum detalhe no design e os principais contributos obtidos são apresentados a seguir.

5.4 Avaliação e melhoria do design

5.4.1 Grupo focal

No dia 15 de maio às 15h00 foi realizado um grupo focal através de uma vídeo conferência online. Este contou com a presença de 4 pessoas, que foram selecionadas tendo em conta o seu conhecimento e interesse pelo desenvolvimento de produtos baseados na ótica da inovação frugal. Foi também tido em consideração a diversidade de géneros e a existência de diferentes faixas etárias nos elementos selecionados de forma a “simular” um agregado familiar típico, ao qual possa ser adequada a solução a desenvolver. Desta forma, foi possível potenciar a complementaridade de opiniões.

A atividade durou cerca de meia hora e foi dividida em três partes. A primeira foi a introdução do âmbito e objetivo do projeto. A segunda foi a apresentação dum protótipo virtual do purificador de água, onde o grupo pode perceber os componentes, materiais e outros detalhes do produto. Por último, na terceira parte, foram realizadas algumas questões de modo a obter um feedback sobre o design do produto. As perguntas realizadas e um resumo do feedback são apresentados abaixo:

1. Quais são as primeiras impressões que têm ao ver o purificador de água?

O grupo falou num sentimento de curiosidade sobre o purificador devido aos diferentes componentes que o constituem e à forma como estes estavam encaixados uns nos outros. Além disso, o desenho foi também apontado como atraente e original devido ao tipo de materiais usados. Foi também demonstrado interesse em experimentar o produto de modo a perceber se este realmente funcionava, e a compreender o funcionamento dos diferentes métodos de filtração.

2. Quais são os pontos positivos que identifica no purificador?

O grupo foi unânime ao mencionar que as técnicas de filtração utilizadas tendo em consideração os diferentes aspetos valorizados nas zonas mais necessitadas de água purificada, foi sem dúvida o principal ponto positivo do produto. Este teria um grande impacto na diferenciação e na conseqüente comercialização do mesmo. Essa foi a ideia em torno do desenvolvimento do produto e de todas as preocupações abordadas, quer ambientais quer sociais.

Além disso, os materiais que compõem o purificador e o seu simples e prático processo de produção foram abordados como pontos positivos devido à falta de algo parecido, e também ao seu baixo custo inerente. Por último, o aspeto funcional do purificador e a sua facilidade de utilização foi outro dos aspetos muito valorizados pelo grupo.

3. Quais os aspetos negativos e/ou que melhoraria no purificador?

De uma forma estruturada e direta, o grupo organizou os principais pontos de melhoria ou cuidado:

- i. A filtração da água pode demorar demasiado tempo devido ao facto da água se mover apenas com o efeito da gravidade.
- ii. Dificuldade na manutenção do desinfetante ou carvão ativado.
- iii. Fazer atenção à fragilidade dos componentes do purificador, de modo a permitir que este se possa transportar sem problemas.

4. Acham que conseguiam produzir este produto?

A resposta foi unânime com todos os elementos a afirmarem que sim. Os materiais locais fáceis de obter e a facilidade do processo de produção foi algo muito valorizado e todos acharam que este protótipo seria facilmente replicável por qualquer pessoa que assim o entendesse.

A maioria destas recomendações foca-se no design do produto e devem ser tidas em conta antes de finalizado o design final do purificador. A secção seguinte introduz o modelo de negócio que orienta a forma como o nosso produto pode ser lançado no mercado.

5.5 Modelo de Negócios

O quadro de modelo de negócios de tripla camada foi o método escolhido para criar o modelo de negócio do filtro de água. As três camadas estão apresentadas abaixo nas **Tabelas 10,11 e 12** e a informação detalhada é apresentado abaixo de cada uma delas. O nível económico está relacionado com a elaboração do protótipo obtido neste estudo. Já os níveis ambiental e social estão relacionados com o produto em si que pode ser produzido com base neste protótipo, pelas pessoas necessitadas.

Tabela 10: Nível económico do modelo de negócios

Parceiros	Atividades	Proposta de valor	Relacionamento com clientes	Clientes
ONGs Governos Doadores Voluntários Empresas	Sensibilizar Criar conteúdo informativo	Purificador de água acessível, feito à base de materiais sustentáveis e maioritariamente disponíveis nas áreas rurais dos países em desenvolvimento.	Apoio às comunidades	Comunidades rurais dos países em desenvolvimento
	Orientar		Canais	
	Recursos		ONGs	
	Voluntários Recursos humanos; Materiais		Governos Voluntários	
Custos		Receitas		
Custos de investigação		Doações individuais Subsídios de ONGs		

Parceiros: Serão estabelecidos acordos com ONGs, doadores e governos dos países em questão para apoiarem na divulgação da informação disponibilizada neste estudo. Voluntários

poderão ser essenciais para ajudar as pessoas na produção do próprio purificador e algumas empresas poderão disponibilizar materiais caso seja necessário em algumas situações.

Atividades: Existem três atividades principais inerentes ao estudo apresentado. Primeiro, é necessário sensibilizar a sociedade para o grande problema que é a escassez de água em algumas comunidades em desenvolvimento e para a consequente necessidade de novas soluções adequadas para esse problema. De seguida, essas pessoas devem obter a informação recolhida neste estudo para saberem o que podem e devem fazer. Por último, devem ser orientadas e ajudadas na construção do purificador caso tenham alguma dúvida.

Recursos: Os voluntários e outros recursos humanos serão essenciais para ajudar as pessoas em tudo o que eles precisem para produzir o seu purificador. Os materiais necessários serão facilmente encontrados na natureza ou a um baixo custo.

Relacionamento com clientes: As comunidades necessitadas sentir-se-ão gratas por saberem e poderem produzir o seu próprio purificador com materiais locais e consequentemente beber água potável, melhorando dessa forma a sua qualidade de vida.

Canais: As ONGs, os governos e os voluntários poderão fazer chegar o nosso projeto às comunidades que mais precisam.

Custos e receitas: No meu ponto de vista, os únicos custos serão os custos de investigação e melhoria para elaborar este estudo prévio utilizado na produção de um purificador. Por outro lado, as receitas poderão ser provenientes de doações individuais de pessoas que queiram ajudar e aliar à causa, e subsídios da ONGs para que possamos promover e divulgar as nossas ideias.

Tabela 11: Nível ambiental do modelo de negócios

Fornecedores	Produção	Valor funcional	Fim de vida	Fase de uso
Empresas Governos	Produção do filtro de cerâmica	Purificador de água para purificar água contaminada	Reciclagem dos materiais possíveis	Os componentes podem ser substituídos
	Produção do filtro de carvão ativado		Distribuição	
	Materiais Argila em pó, cascas de arroz, água, madeira, recipiente, sumo de limão, garrafa de plástico, tecido, desinfetante, cordão.		ONGs Governos Voluntários	
Impactos ambientais		Benefícios ambientais		
Todos os impactos ambientais são inerentes à fase da produção		Redução da poluição dos solos e da água; Poupança dos recursos hídricos escassos;		

Fornecedores: A maioria dos materiais será facilmente adquirido por qualquer pessoa sem qualquer custo, com exceção do desinfetante que poderá ser fornecido pelo governo. Algumas empresas (ex:tijolos) poderão fornecer material caso seja necessário.

Produção e materiais: Os materiais necessários são argila em pó, cascas de arroz e água para produzir o filtro de cerâmica; madeira, um recipiente metálico e sumo de limão para produzir o filtro de carvão ativado; desinfetante; garrafa de plástico, tecido e cordão para produzir o recipiente onde serão colocados as elementos de purificação.

Fase de uso e fim de vida: Os componentes do purificador são facilmente removíveis: a cerâmica e o desinfetante devem ser substituídos. O carvão pode ser reciclado e reutilizado e o recipiente deve ser limpo regularmente e quando necessário substituído e reciclado.

Distribuição: ONGs, os governos e voluntários poderão ajudar a transmitir o conteúdo informativo presente neste estudo pelas pessoas que mais necessitam.

Impactos e benefícios ambientais: Os únicos impactos ambientais estarão associados à fase da produção, mais concretamente à queima da madeira e da argila. Por outro lado, os benefícios ambientais são a redução da poluição da água e dos solos, ou noutras circunstâncias, a poupança dos recursos hídricos escassos. Caso o recipiente seja uma garrafa, também contribuirá para a reutilização dos plásticos.

Tabela 12: Nível social do modelo de negócios

Comunidades Locais	Governo	Valor Social	Cultura Social	Consumidor final
O purificador é destinado às comunidades rurais de países em desenvolvimento	Apoios na sensibilização para o problema;	Melhoria da qualidade de vida dos consumidores com um produto frugal	Cultura de frugalidade e materiais locais;	Satisfazer a necessidade de água potável dos consumidores;
	Empregados		Escala de alcance	
	Não é necessário mão de obra especializada		Expandir a todas as zonas sem água potável disponível	
Impactos sociais		Benefícios sociais		
-		Melhoria da qualidade da água; Melhoria da saúde dos consumidores;		

Comunidades Locais e empregados: Não é necessário qualquer empregado pois não é necessária mão de obra de especializada para produzir o purificador. Este pode ser produzido por qualquer pessoa praticamente com recurso a produtos locais.

Escala de alcance: O ideal seria fazer chegar esta informação a todas as comunidades sem acesso a água potável o mais rapidamente possível e reduzir drasticamente a escassez de água não contaminada. Para além disso, incentivar a outras organizações ou empresas a produzir produtos frugais para solucionar muitos outros problemas, existentes principalmente nos países em desenvolvimento.

Impactos e benefícios sociais: Não são considerados quaisquer impactos sociais negativos, uma vez que o purificador não tem praticamente nenhuns custos de produção e os impactos ambientais são mínimos. Assim, possui apenas benefícios sociais claros como a melhoria da qualidade da água, da saúde dos consumidores e conseqüentemente do seu nível de vida.

Drivers de custo

Para além do design e do processo de produção, é importante analisar a nossa solução do ponto de vista económico, ainda que de acordo com o âmbito desta dissertação, um dos grandes objetivos deste protótipo é mostrar como é possível a criação de um purificador praticamente a custo zero. No entanto, uma análise económica requereria uma investigação aprofundada do mercado geográfico em questão.

Ainda assim, foi possível identificar os principais drivers de custo associados ao desenvolvimento do purificador, apresentados na **Tabela 13**, e fazer uma estimativa por alto dos seus custos, permitindo ter uma ideia do potencial custo total do purificador. Os restantes materiais não apresentados, não foram tidos em conta devido ao seu custo insignificativo.

Tabela 13: Tabela de preços das diferentes matérias-primas

Matérias-primas	Custo
Tijolo	0.33€
Madeira (25 unidades de 10mm x10mm)	0.14€
Cascas de arroz (200 g)	0.20€
Recipiente metálico	1.49€
Desinfetante (100mg)	0.60€
Cordão	0.05€
Custos gerais	0.55€
Total	3.36€

6. Conclusões finais

Nos últimos anos, o aumento crescente da população e a diminuição dos recursos de água doce fizeram com muitas pessoas enfrentassem escassez de água potável. A grande maioria vive em países em desenvolvimento, sem condições mínimas de vida. Por vezes, a sua única solução é beber água diretamente de fontes naturais, que por sua vez podem estar contaminadas e conseqüentemente trazer graves problemas para a saúde.

As tecnologias de purificação de água no ponto de uso podem ser bastante úteis para ajudar a diminuir as conseqüências deste problema, mas atualmente a maioria das tecnologias disponíveis não são adequadas ao mercado em que mais são precisas. Neste sentido, a introdução de novos produtos assume uma relevância fulcral e é identificada como um dos principais focos para o sucesso nesta problemática. A acessibilidade, funcionalidade e a sustentabilidade são alguns dos aspetos que devem ser tidos em conta.

Nesta dissertação é estudada a escassez de água em zonas rurais de países em desenvolvimento e uma solução para resolver esta questão é apresentada. Trata-se de um purificador de água produzido manualmente à base de produtos locais facilmente encontrados em qualquer região do mundo.

Para desenvolver a solução, foi seguida a metodologia estudada na Revisão da Literatura que estava dividida em cinco etapas. Em cada uma dessas etapas foram aplicadas diferentes análises e métodos.

Na 1ª Etapa, foi elaborada uma árvore de problemas para evidenciar a necessidade da solução proposta (purificador), com base nas causas que atualmente estão a originar o problema da escassez de água potável.

A 2ª Etapa apresentou diversas alternativas para solucionar o problema destacado. Foram apresentadas diferentes tecnologias de purificação no ponto de uso que poderiam ser utilizadas e posteriormente com recurso a um método de seleção qualitativo, foi selecionada a mais adequada. Conclui-se que não seria apenas uma tecnologia, mas sim a combinação de quatro tecnologias distintas (Cerâmica, Carvão ativado, Areia, Desinfecção) que se complementariam para purificar diferentes contaminantes.

Com toda a base teórica especificada nas etapas anteriores, na 3ª Etapa procedeu-se ao desenvolvimento de um protótipo virtual que fosse capaz de suportar a futura criação do purificador de água. Foram utilizados os softwares *Solid Edge* e *Adobe Photoshop* para realizar desenhos 3D do produto, sendo necessário realizar vários designs preliminares até chegar ao design final. Foi também elaborado um processo de montagem local e artesanal detalhado do purificador, com a explicação de como obter cada um dos componentes e como os montar.

Na 5ª Etapa o protótipo foi submetido a uma avaliação/ melhoria através de um grupo focal, com o objetivo de obter alguns feedbacks sobre o design do produto a fim de evitar alguns erros desnecessários.

Por último, na 6ª Etapa foi elaborado um modelo de negócio com todas as diferentes atividades e extensões necessárias para o sucesso do produto, juntamente com algumas diretrizes que deviam ser seguidas de modo a melhorar a viabilidade do mesmo.

Em suma, um dos principais objetivos desta dissertação era desenvolver um protótipo que servisse de suporte para a construção de um purificador de água que pudesse ser replicado por qualquer pessoa, em qualquer zona rural e praticamente com recurso a materiais locais. Esse objetivo foi alcançado, e foram delineadas algumas diretrizes futuras que podem e devem ser seguidas de modo a dar continuidade ao trabalho desenvolvido até ao momento:

- Elaborar um protótipo físico e testar a sua eficiência;
- Abordar os principais pontos negativos obtidos do grupo focal e dos conhecimentos recolhidos ao longo do desenvolvimento do produto. Estes pontos dizem respeito a melhorias que podem ser feitas antes de produzir o produto;
- Testar a produção artesanal do produto numa zona rural, onde pudessem ser estabelecidas cadeias de abastecimento adequadas e identificados fornecedores locais.

7. Bibliografia

- Ahmad, A. e Azam, T. (2019). Bottled and Packaged Water: Water Purification Technologies, 83-120, *Woodhead Publishing*.
- Amarsinghe, U. e Sharma, B. (2009). Water Productivity of Food Grains in India: Exploring Potential Improvements, 13-54, *International Water Management Institute*.
- Ammani, A., Auta, S., e Aliyu, J. (2010). Challenges to Sustainability: Applying the Problem Tree Analysis Methodology to the ADP System in Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*
- Angot, J. and Plé, L. (2015). Serving poor people in rich countries: the bottom-of-the-pyramid business model solution. *Journal of Business Strategy*, 36(2): 3-15.
- Antico, M., Moenaert, R. e Lindgreen, A. (2008). Reducing ongoing product design decision-making bias. *Journal of Product Innovation Management*, 25 (6): 528-45.
- APA (2015). Plano Nacional da Água. Disponível em: https://www.apambiente.pt/_zdata/Politicass/Agua/PlaneamentoGestao/PNA/2015/PNA2015.pdf. Acedido a 12/11/2020.
- APEC Water (2017). Differences between POE and POU Water Filtration. Disponível em: <https://www.freedrinkingwater.com/whole-house/water-filter-knowledge-base/difference-between-poe-pou-water-filtration.htm>. Acedido a 15/10/2020.
- Arnal, J., Garcia-Fayos, B., Verdu, G. e Lora, J. (2009). Ultrafiltration as an alternative membrane technology to obtain safe drinking water from surface water: 10 years of experience on the scope of the AQUAPOT project. *Desalination*, 248(3): 34–41.
- Bain, R., Wright, J., Yang, H., Gundry, S., Pedley, S. e Bartram, J. (2014). Improved but not necessarily safe: water access and the millennium development goals. Global Water Forum, Australia.
- Bartl, M., Füller, J., Mühlbacher, H. e Ernst, H. (2012). A Manager's Perspective on Virtual Customer Integration for New Product Development. *Journal of Product Innovation Management*, 29 (6): 1031–1046.
- Basu, R., Banerjee, P. e Sweeny, E. (2013). Frugal innovation: Core competencies to address global sustainability. *Journal of Management for Global Sustainability*, 1(2): 63-82.
- Bhatti, Y. (2012). What is Frugal, What is Innovation? Towards a Theory of Frugal Innovation. *SSRN Electronic Journal*.
- Blijlevens, J., Creusen, M. e Schoormans, J. (2009). How consumers perceive product appearance: The identification of three product appearance attributes. *International journal of design*, 3(3): 27-35.
- Bloch (2011). Product Design and Marketing: Reflections After Fifteen Years. *Journal of Product Innovation Management*, 28 (3): 378-80.
- Bloch, P. (1995). Seeking the ideal form: Product design and consumer response. *The Journal of Marketing*, 59(3): 16-29.
- Bloch, P., Brunel, F. e Arnold, T. (2003). Individual differences in the centrality of visual product aesthetics: Concept and measurement. *Journal of consumer research*, 29(4): 551-565.
- Bocken, N. e Short, S. (2016). Towards a sufficiency-driven business model: Experiences and opportunities. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 18(3): 41-61.
- Boztepe, S. (2007). User Value: Competing Theories and Models. *International Journal of Design*, 1(2): 55-63.

- Brem, A. e Wolfram, P. (2014). Research and Development from the bottom up - Introduction of Terminologies for New Product Development in Emerging Markets. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 3(1): 1-22.
- Candi, M., Jae, H., Makarem, S. e Mohan, M. (2017). Consumer responses to functional, aesthetic and symbolic product design in online reviews. *Journal of Business Research*, 81: 31-39.
- Chakraborti, R. K., Kaur, J., e Kaur, H. (2019). Water Shortage Challenges and a Way Forward in India. *Journal - American Water Works Association*, 111(5): 42–49.
- Chakravarthy, B. e Coughlan, S. (2011). Emerging market strategy: Innovating both products and delivery systems. *Strategy & Leadership*, 40(1): 27-32.
- Charter, M. e Tischner, U. (2001). Sustainable solutions, *Greenleaf Publishing*.
- Chen, S. (2018). Product Design Research: A Review, 37-54, *The Design Imperative*.
- Chitturi, R., Raghunathan, R. e Mahajan, V. (2008). Delight by Design: The Role of Hedonic versus Utilitarian Benefits. *Journal of Marketing*, 72(3): 48-63.
- CNA (2020). Água no Planeta Terra. Disponível em: <https://conselhonacionaldaagua.weebly.com/aacutegua-no-planeta-terra.html>. Acedido a 12/11/2020.
- Creusen, M. (2011). Research Opportunities Related to Consumer Response to Product Design. *Journal of Product Innovation Management*, 28 (3): 405-408.
- Creusen, M. e Schoormans, J. (2005). The Different Roles of Product Appearance in Consumer Choice. *Journal of Product Innovation Management*, 22(1): 63–81.
- Crilly, N., Moultrie, J. e Clarkson, P. (2004). Seeing things: consumer response to the visual domain in product design. *Design studies*, 25(6): 547-577.
- Deloitte. (2019). *UNLEASH Innovation Process*.
- Desmet, P. e Hekkert, P. (2007). Framework of Product Experience. *International Journal of Design*, 1(1): 13-23.
- Dimkov, D. (2018). Market Research for Water Purification system. Disponível em: <https://www.bizzbeesolutions.com/wp-content/uploads/2018/09/Market-Research-for-Water-Purification-system.pdf>. Acedido a 02/10/2020.
- Doungmanee, P. (2016). The nexus of agricultural water use and economic development level. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 37(1): 38–45.
- Dresch, A., Lacerda, D. e Cauchick Miguel, P. (2015). A Distinctive Analysis of Case Study, Action Research and Design Science Research. *Review of Business Management*: 1116–1133.
- FAO (2020). AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Disponível em: <http://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use>. Acedido a 12/11/2020.
- Ferraz, K. e Foltran, E. (2014). O uso das tecnologias para o desenvolvimento de hábitos de estudos no auxílio à aprendizagem. Disponível em: O uso das tecnologias para o desenvolvimento de hábitos de estudos no auxílio à aprendizagem. Acedido a 5/12/2020.
- Garza-Reyes, J., Kumar, V., Covarrubias, J. e Lim, M. (2017). Managing Innovation and Operations in the 21st Century. *CRC Press*.

- George, G, McGahan, A. e Prabhu, J. (2012). Innovation for inclusive growth: Towards a theoretical framework and a research agenda. *Journal of Management Studies*, 49(4): 661-683.
- Giese, J., Malkewitz, K., Orth, U. e Henderson, P. (2014). Advancing the aesthetic middle principle: Trade-offs in design attractiveness and strength. *Journal of Business Research*, 67(6), 1154–1161.
- Goodwin, P., e Wright, G. (2014). Decision Analysis for Management Judgment. https://books.google.pt/books?id=VszO_kZl4bUC&printsec=frontcover&hl=pt-PT
- Govers, P., Hekkert, P. e Schoormans, J. (2003). Happy, cute and tough: Can designers create a product personality that consumers understand, Taylor & Francis Group.
- Gupta, S.K., Islam, M.S., Johnston, R., Ram, P.K., Luby, S.P. (2008). The Chulli water purifier: acceptability and effectiveness of an innovative strategy for household water treatment in Bangladesh. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 78:979-984.
- Hamacher, S. (2014). Exploring the Frugal Innovation Process: An Empirical Study of a New Emerging Market Phenomenon. Tese de doutoramento, Copenhagen Business School.
- Holt, R. e Barnes, C. (2009). Towards an integrated approach to “Design for X”: an agenda for decision based DFX research. *Research in Engineering Design*, 21(2): 123-136.
- Homburg, C., Schwemmler, M. e Kuehnl, C. (2015). New product design: Concept, measurement, and consequences. *Journal of Marketing*, 79(3): 41-56.
- Hossain, M. (2018). Frugal innovation: A review and research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 182: 926-936.
- Hossain, M., Simula, H. e Halme, M. (2016). Can frugal go global? Diffusion patterns of frugal innovations. *Technology in Society*, 46(8): 132-139.
- <https://heavy.com/travel/2018/10/portable-water-filter/>. Acedido a 20/10/2020.
- Hung, W. e Chen, L. (2012). Effects of novelty and its dimensions on aesthetic preference in product design. *International Journal of Design*, 6(2): 81-90.
- Hyvärinen, A., Keskinen, M., e Varis, O. (2016). Potential and Pitfalls of Frugal Innovation in the Water Sector: Insights from Tanzania to Global Value Chains. *Sustainability*, 8(9): 888.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume-3.pdf. Acedido a 12/11/2020.
- Jaga, K. e Dharmani, C. (2003). Sources of exposure to and public health implications of organophosphate pesticides. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 14(3): 171–185.
- Jindal, R., Sarangee, K., Echambadi, R. e Lee, S. (2016). Designed to succeed: Dimensions of product design and their impact on market share. *Journal of Marketing*, 80(4): 72-89.
- Joyce, A., e Paquin, R. L. (2016). The triple layered business model canvas: A tool to design more sustainable business models. *Journal of Cleaner Production*, 135(June), 1474–1486. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.067>
- Kahle, H., Dubiel, A., Ernst, H. e Prabhu, J. (2013). The democratizing effects of frugal innovation: Implications for inclusive growth and state-building. *Journal of Indian Business Research*, 5(4): 220-234.

- Kellie, G. (2016). Advances in Technical Nonwovens, 153-178, *Woodhead Publishing*.
- Khan, R. (2016). How frugal innovation promotes social sustainability. *Sustainability*, 8(1034): 1-29.
- Kharas, H. (2010). The Emerging Middle Class in Developing Countries. Disponível em: <https://www.oecd.org/dev/44457738.pdf>. Acedido a 1/12/2020.
- Kingsnorth, A., Tongaomkar, R. e Awojobi, O. (2011). Commentary on low-cost mesh for inguinal hernia repair in resource-limited settings. *Springer*, 15 (5): 491-494.
- Kondis, A. e Stehli, S. (2014). Frugal innovation: Creating and capturing value in emerging markets. Disponível em: <https://www.imd.org/research-knowledge/articles/frugal-innovation-creating-and-capturing-value-in-emerging-markets/>. Acedido a 1/12/2020.
- Kotler, P. e Armstrong, G. (2010). Principles of marketing, *Prentice Hall*.
- Krueger e Casey (2002). Focus Groups. A Practical Guide for Applied Research. <https://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/791/1718>
- Kumar, N. e Puranam, P. (2011). Inside India: The emerging innovation challenge to west, 1-208, *Harvard Business School Press*.
- Kuo, T., Huang, S.e Zhang, H. (2001). Design for manufacture and design for “X”: concepts, applications, and perspectives. *Computers & Industrial Engineering*, 41(3): 241-260.
- Landwehr, J., Wentzel, D. e Herrmann, A. (2012). The Tipping Point of Design: How Product Design and Brands Interact to Affect Consumers’ Preferences. *Psychology and Marketing*, 29(6): 422-433.
- Lantagne, D.S., Clasen, T. (2009). Point of use water treatment in emergency response. London School of Hygiene and Tropical Medicine, London.
- Leder, H., Belke, B., Oeberst, A. e Augustin, D. (2004). A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments. *British Journal of Psychology*, 95(4): 489–508.
- Lee, S., Ha, S. e Widdows, R. (2011). Consumer responses to high-technology products: Product attributes, cognition, and emotions. *Journal of Business Research*, 64(11): 1195-1200.
- Levänen, J., Hossain, M., Lyytinen, T., Hyvärinen, A., Numminen, S. e Halme, M. (2015). Implications of Frugal Innovations on Sustainable Development: Evaluating Water and Energy Innovations. *Sustainability*, 8(1): 4.
- Li, J., Zeng, X. e Stevels, A. (2014). Ecodesign in Consumer Electronics: Past, Present, and Future. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(8): 840–860.
- London, T. e Hart, S. L. (2004). Reinventing strategies for emerging markets: Beyond the transnational model. *Journal of International Business Studies*, 35: 350 –370.
- Loo, S., Fane, A., Krantz, W. e Lim, T. (2012). Emergency water supply: A review of potential technologies and selection criteria. *Water Research*, 46(10): 3125-3151.
- Luchs, M. e Swan, K. (2011). Perspective: The Emergence of Product Design as a Field of Marketing Inquiry. *Journal of Product Innovation Management*, 28 (3): 327-345.
- Machuca, J., Zamora, M. e Escobar, V. (2007). Service Operations Management research. *Journal of Operations Management*, 25(3): 585–603.
- Mara, D. D. (2003). Water, sanitation and hygiene for the health of developing nations. *Public Health*, 117(6): 452-456.

- Margalida, A., Bertran, J. e Boudet, J. (2005). Assessing the diet of nestling Bearded Vultures: a comparison between direct observation methods. *Journal of Field Ornithology*, 76(1): 40-45.
- Meenakshi, S. e Maheshwari, R. (2006). Fluoride in drinking water and its removal. *Journal of Hazardous Materials*, 137(1): 456-463.
- Moon, H., Park, J. e Kim, S. (2015). The importance of an innovative product design on customer behavior: Development and validation of a scale. *Journal of Product Innovation Management*, 32(2): 224-232.
- MRF (2018). Global Water Purifier Market Research Report: Information by Product, Devices, End-User and Region - Forecast till 2025. Disponível em: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/water-purifier-market-2178#summary>. Acedido a 06/10/2020.
- Noble, C. e Kumar, M. (2010). Exploring the Appeal of Product Design: A Grounded, Value-Based Model of Key Design Elements and Relationships. *Journal of Product Innovation Management*, 27(5): 640-657.
- Norman, D. (1988). *The Psychology of Everyday Things*, Basic Books.
- Pagsuyoin, S., Santos, J., Latayan, J. e Barajas, J. (2015) A multiattribute decision-making approach to the selection of point-of-use water treatment. *Environment Systems and Decisions*, 35(4): 437-452.
- Pansera, M. e Sarkar, S. (2016). Crafting sustainable development solutions e frugal innovations of grassroots entrepreneurs. *Sustainability* 8 (51): 1-25.
- Peter-Varbanets, M., Zurbrügg, C., Swartz, C. e Pronk, W. (2009). Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research*, 43(2): 245-265.
- Petrick, I. e Juntiwassarakij, S. (2011). The rise of the rest: Hotbeds of innovation in emerging markets. *Research-Technology Management*, 54(4): 24-29.
- Prahalad, C. e Mashelkar, R. (2010). Innovation's Holy Grail. *Harvard Business Review*, 88(8): 132-141.
- Radjou, N. e Prabhu, J. (2015). Frugal Innovation: How to Do Better With Less, 1-256, *The Economist*.
- Radziwill, N. e Benton, M. (2017). Design for X (DfX) in the Internet of Things (IoT). *Journal of Quality Management Systems, Applied Engineering, & Technology Management*, Vol. 1.
- Raghubir, P. e Greenleaf, E. (2006). Ratios in proportion: What should the shape of the package be? *Journal of Marketing*, 70(2): 95-107.
- Rangan, V. e Sinha, M. (2011). Hindustan Unilever's 'Pureit' water purifier. Estudo de caso: Harvard Business School Case No. 0-511-067.
- Rao, B. (2013). How disruptive is frugal? *Technology in Society*, 35: 65-73.
- Reber, R., Schwarz, N. e Winkielman, P. (2004). Processing Fluency and Aesthetic Pleasure: Is Beauty in the Perceiver's Processing Experience? *Personality and Social Psychology Review*, 8(4): 364-382.
- Reynolds, K. (2008). A Benefit for Small Community Water Treatment. *Water Conditioning & Purification*

- Rocca, F. (2016). Supply Chain Management for Frugal Innovation Product. Tese de mestrado, Instituto Superior Técnico.
- Roland Berger Strategy Consultants (2015). Frugal products. Think Act.
- Rosca, E., Arnold, M. e Bendul, J. (2016). Business models for sustainable innovation – an empirical analysis of frugal products and services. *Journal of Cleaner Production*: 1-13.
- Rose, C. (2000). Design for Environment: A Method for Formulating Product End-of-Life Strategies. Tese de doutoramento, Stanford University, Palo Alto, CA.
- Shane, S. e Ulrich, K. (2004). Technological Innovation, Product Development, and Entrepreneurship in Management Science. *Management Science*, 50(2): 133-144.
- Sharma, D. e Bharat, A. (2009). Conceptualizing risk assessment framework for impacts of climate change on water resources. *Current Science*, 96(8): 1044-1052.
- Slack, N., Brandon-jones, A. e Johnston, R. (2007). Operations management, *Pearson Books*
- Sobsey, M. (2002). Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply. World Health Organization, Geneva.
- Solvatten (2015). What is Solvatten? Disponível em: <https://solvatten.org/what-is-solvatten/>. Acedido a 4/12/2020.
- Soni, P. (2013). The nature of frugal innovations: A conceptual framework. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/255964659_The_nature_of_frugal_innovations-_A_conceptual_framework. Acedido a 2/12/2020.
- Soni, P. e T. Krishnan, R. (2014). Frugal innovation: aligning theory, practice, and public policy. *Journal of Indian Business Research*, 6(1): 29-47.
- Soydan, I. (2012). Creating Frugal Innovations in India Challenges for Western MNCs in Frugal Innovation process. Tese de mestrado, University of Gothenburg.
- Spears, N. e Yazdanparast, A. (2014). Revealing Obstacles to the Consumer Imagination. *Journal of Consumer Psychology*, 24 (3): 363–72.
- Srinivasan, R., Lilien, G., Rangaswamy, A., Pingitore, G. e Seldin, D. (2012). The Total Product Design Concept and an Application to the Auto Market. *Journal of Product Innovation Management*, 29: 3-20.
- Srinivasan, Raji, Gary L. Lilien, Arvind Rangaswamy, Gina M. Pingitore, and Daniel Seldin (2012), "The Total Product Design Concept and an Application to the Auto Market," *Journal of Product Innovation Management*, 29 (S1), 3–20.
- TapIt Water (2020). 8 Lifestraw Water Filter Alternatives: Are They Better?. Disponível em: <https://tapitwater.com/lifestraw-water-filter-alternatives/>. Acedido a 20/10/2020.
- Thakker, A., Jarvis, J., Buggy, M., e Sahed, A. (2009). 3DCAD conceptual design of the next-generation impulse turbine using the Pugh decision-matrix. *Materials and Design*
- The Berkey (2019). Types of Drinking Water Filtration Systems, Reviews. Disponível em: <https://theberkey.com/blogs/water-filter/types-of-drinking-water-filtration-systems-reviews>. Acedido a 15/10/2020.
- The Economist (2010). First break all the rules: the charms of frugal innovation. Disponível em: <https://www.economist.com/node/15879359>. Acedido a 26/07/2021

- Tiwari, R. e Herstatt, C. (2013). 'Too good' to succeed? Why not just try 'good enough!' *Some deliberations on the prospects of frugal innovations*, 49: 1-11.
- Tiwari, R., Kalogerakis, K. e Herstatt, C. (2014). Frugal Innovation and Analogies: Some Propositions for Product Development in Emerging Economies, Technology and Innovation Management. Working Paper. Hamburg University of Technology. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/zbw/tuhtim/84.html>. Acedido a 20/11/2020.
- TMR (2019). Global Water Purifier Market Research Report: Information by Product, Devices, End-User and Region - Forecast till 2025. Disponível em: <https://www.transparencymarketresearch.com/water-purifier-market-2017-2025.html>. Acedido a 15/10/2020.
- Townsend, C. e Sood, S. (2014). Self-Affirmation through the Choice of Highly Aesthetic Products. *Journal of Consumer Research*, 39 (2): 415-428.
- Trott (2017). Innovation Management and New Product Development: Market research and its influence on new product development, 553-573, *Pearson*.
- Ulrich, K. (2011). Design Is Everything? *Journal of Product Innovation Management*, 28 (3): 394-398.
- Ulrich, K. e Eppinger, S. (2012). Product design and development, *McGraw-Hill/Irwin*.
- UN (2015). Human Development Report 2015: Work for Human Development. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-report-2015>. Acedido a 02/11/2020.
- UN (2018). Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/highlights-sdg-6-synthesis-report-2018-on-water-and-sanitation-2/>. Acedido a 9/11/2020.
- UNESCO (2016). The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000243938>. Acedido a 12/11/2020.
- United Nations (2018). Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation. Report. Disponível em: www.unwater.org/app/uploads/2018/07/SDG6_SR2018_web_v5.pdf. Acedido a 09/11/2020.
- UNRIC (2019). Água. Disponível em: <https://unric.org/pt/agua/>. Acedido a 12/11/2020.
- USBW (2020). Water Facts - Worldwide Water Supply. Disponível em: <https://www.usbr.gov/mp/arwec/water-facts-ww-water-sup.html>. Acedido a 12/11/2020.
- Venkatesha, R., Rao, A., e Kedare, S. (2020). Appropriate household point-of-use water purifier selection template considering a rural case study in western India. *Applied Water Science*, 10(5):124-140.
- Vesely, A. (2008). Problem Tree: A Problem Structuring Heuristic. *Central European Journal of Public Policy*, 2(2), 68-80.
- WEF (2015). Global Risks 2015. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf. Acedido a 11/11/2020.
- Werber, J. R., Osuji, C. O. e Elimelech, M. (2016). Materials for next-generation desalination and water purification membranes. *Nature Reviews Materials*, 1(5): 1-15.
- Weyrauch, T. e Herstatt, C. (2016). What is frugal innovation? Three defining criteria. *Journal of Frugal Innovation*, 2(1): 1-17.

- WHO (2019). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities. Disponível em: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/jmp-report-2019/en/. Acedido a 12/11/2020.
- Wohlfart, L., Bünger, M., Lang-Koetz, C. e Wagner, F. (2016). Corporate and grassroots frugal innovation: a comparison of top-down and bottom-up strategies. *Journal of Technology Management e Innovation*, 6 (4): 5-17.
- Woodward, D. (2011). Plain and simple. Disponível em: http://www.director.co.uk/ONLINE/2011/08_11_frugal-innovation.html. Acedido a 20/11/2020.
- Zeschky, M., Winterhalter, S. e Gassmann, O. (2014). What is Frugal Innovation? Conceptualization and Empirical Evidence. Conference Paper.
- Zimmerman J., F. J. (2014). *Research Through Design in HCI*.
- Zumdahl, S. (2020). Water. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/water>. Acedido a 11/11/2020.

Anexos

Anexo 1: Lista de 117 e a sua frequência de aparecimento na literatura da inovação frugal.

Case	#	Case	#	Case	#
Tata Nano	25	Galanz's microwave	1	CheX	1
GE's ECG machine	20	Haier's air conditioners	1	D-Rev	1
GE's Ultrasound machine	13	Haier's fridge	1	Diagnostics for paper-based diagnostic tests	1
Aravind Eye Care	10	Lenovo \$300 laptop	1	Dry-Tri	1
Tata Swach	10	Zhongxing X-Ray Machine	1	Fetal Heart rate Monitor	1
Aakash	7	Nokia 1200	1	Fixed-dose combinations of Anti-retroviral drugs for AIDs	1
M-Pesa	7	Nokia basic phones	1	Food fortification with Iodine and Iron	1
ChutuKool	6	Siemens' Computed Tomography Scanner	1	Generic drugs	1
Husk Power Systems	6	Siemens' wastewater treatment	1	Haman's infortainment systems	1
MittiCool	6	"missed call" service in India	1	Health care	1
Narayana Hospital	6	A Little World-rural banking through mobile phony	1	HMI Line panel	1
Vortex ATMs	6	Acme power interface unit	1	Hole in the wall	1
GE's Lullaby baby warmer	5	ATM on wheels	1	HospIS project	1
Jaipur foot	5	Awaaz.De - Voice Message Board for Education	1	Invention Labs	1
Mahindra & Mahindra's small tractors	5	Bamboo Bike	1	Kutch house	1
Embrace	5	Electronic Voting Machine (India)	1	Low cost sanitary toilets	1
Grameen Bank's microfinance	4	Kerala Palliative Care	1	Low-cost bubble continuous positive airway pressure device (CPAP)	1
Easy Paisa	4	Motorcycle-based tractor	1	Mettler Toledo Weighing Scale	1
Haier's washing machine	3	Naandi - a system for clean water in Andhra Pradesh	1	Micro-PCR device	1
Logitech mouse	3	Scooter-powered flour-mill	1	Mindray- healthcare products	1
Bharti Airtel	3	Superseva	1	Missile	1
Rickshaw Bank in India	3	Kopo Kopo	1	Multix Select DR machine	1
SELCO	3	ToughStuff	1	Oral misoprostol	1
Nokia 1100	2	Medicall in Brazil	1	Oral rehydration therapy	1
Nokia's 101	2	300S House- housing for the poor	1	OSDD	1
EKO mobile phone banking	2	bCPAP for new born breathing	1	Patient Monitoring System	1
Micromax's mobile phone (India)	2	Bahria Town	1	Ponseti method - gold standard treatment of club foot	1
Tata Ace	2	Dacia Logan	1	Probe for Detecting Tuberculosis	1
Unilever's Purit	2	Solvatten	1	Pureit	1
Vodafone Rs.10 pre-paid cellular phone balance	2	LifeStraw	1	Radio Telescope	1
Firefly - treat neonatal jaundice is undertrial in Philippines and Vietnam	2	HTC \$30 mobile	1	Reverse engineered vaccines	1
Solar Sister	2	Bamboo Microscope	1	Robotic Hand	1
BYD-Lithiumion Battery	2	Beating Heart Surgery	1	Small sachets of Tide for one rupee	1
Immunoassay-based fabric chips	2	WE CARE Solar Suitcase	1	Smart medicine pack by Microsoft Research India	1
Shakerscope	2	Well Baby Bassinet	1	Stove and Fuel	1
eRanger - ambulance for rural Africa	1	\$5K Awami Villas	1	Super Religare Laboratories' Blood collection	1
Unilever's washing-powder sachets	1	Biofortification - to produce staple crops rich in micronutrients	1	Vivian Fonseca- SMS message to control diabetes	1
Mobile e-learning in Bangladesh	1	Bone Drill	1	WiMax	1
Dachangjiang- Motorcycle	1	careHPV	1	XCyto Screen series	1