



Tecnologias de Fabrico Aditivo em Produção de Alimentos

Caso de estudo | Alimentos para Idosos com Disfagia

Mestrado em Engenharia para Fabricação Digital Direta

Jónatas Domingos Loureiro

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Agostinho Manuel Antunes da Silva, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, 31 de setembro de 2022



Tecnologias de Fabrico Aditivo em Produção de Alimentos

Caso de estudo | Alimentos para Idosos com Disfagia

Mestrado em Engenharia para Fabricação Digital Direta

Jónatas Domingos Loureiro

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Agostinho Manuel Antunes da Silva, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, 31 de setembro de 2022

Originalidade e Direitos de Autor

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a/o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia para a Fabricação Digital Direta, no ano letivo 2021/2022, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal.

Resumo

O Fabrico Aditivo (FA) popularmente designada por "impressão 3D", emergiu, expandiu-se e amadureceu até uma fase em que proporciona enorme liberdade para conceber, fabricar e inovar em múltiplas aplicações e negócios. Independentemente do processo e materiais utilizados, a tecnologia de FA tem como princípio base a utilização de sistemas, normalmente robotizados, que adicionam camadas de materiais, umas sobre as outras, de onde resultam formas tridimensionais.

No setor alimentar, pese embora ainda pouco disseminada, esta tecnologia é descrita nos meios académicos e industriais como de grande potencial, especialmente em nichos relacionados com alimentos personalizados em termos nutritivos, textura, forma, sabor, entre outros. A disfagia é um termo que se refere a um sintoma relacionado com qualquer alteração no ato de engolir que dificulte ou impeça a ingestão oral segura, eficiente e confortável. Esta, pode ocorrer em qualquer faixa etária, como consequência de várias condições médicas e até psíquicas. Trata-se de uma limitação que exige alimentos com características nutritivas e físico-mecânicas que possam ser deglutidos por pessoas com disfagia, utilizando a metodologia Design Science Research nesta investigação foram encontrados e validados potenciais blocos funcionais para um sistema de FA que permita fabricar alimentos adaptados a pessoas com esta doença. Uma vez desenhados os blocos funcionais, como validação do sistema optou-se por inquirir especialistas, os quais, validaram os blocos funcionais e reiteraram a o potencial do sistema na área da saúde alimentar das pessoas com disfagia.

Palavras-chave: Impressão 3D; Fabrico Aditivo; Alimentos; *Food Printing*; Idosos; Disfagia; Saúde; Nutrição

Abstract

Additive Manufacturing (AM) popularly referred as "3D printing", has emerged, expanded, and matured to a stage where it provides enormous freedom to design, manufacture and innovate across multiple applications and businesses. Regardless of the process and materials used, AM technology is based on the use of systems, usually robotic, that add layers of materials, one on top of the other, resulting in a three-dimensional shape.

In the food sector, although not yet widespread, this technology is described in academic and industrial circles as having great potential, especially in areas related to personalized food in terms of nutrition, texture, shape, flavor, among others. Dysphagia is a term that refers to a symptom related to any alteration in the act of swallowing that makes it difficult or prevents safe, efficient, and comfortable oral ingestion. This can occur in any age group, due to various medical and even psychological conditions. This limitation requires food with nutritional and physical-mechanical characteristics that can be swallowed by people with this disease, using the Design Science Research methodology in this investigation, potential functional blocks were found and validated for an AM system that allows the manufacture of adapted food for people with dysphagia. Once the functional blocks had been designed, it was decided to question specialists, who validated the functional blocks and reiterated the system's potential in dietary health for people with dysphagia.

Keywords: 3D printing, Additive Manufacturing, Food, Food Printing, Elderly; Dysphagia; Health; Nutrition.

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	III
Resumo	IV
Abstract.....	V
Índice	VI
Lista de Tabelas	VIII
Lista de figuras	VIII
Abreviações e acrónimos.....	IX
1. Introdução.....	1
Organização dos conteúdos expostos	2
2. Problemática.....	3
Fabrico aditivo aplicado à produção de alimentos.....	5
Tipos de processos de 3DFP	6
Alimentos como material no Fabrico Aditivo aplicado ao setor alimentar.....	10
Aplicações	13
O problema da disfagia em idosos	14
Idosos, disfagia e tecnologia de fabrico aditivo.....	15
3. Problema de Investigação e Objetivo.....	16
4. Revisão de literatura.....	17
5. Metodologia	19
6. Requisitos conceptuais para sistema de FA em alimentos adaptados à disfagia	21
7. Possíveis Caminhos e Blocos Funcionais do Artefacto	31
Bloco funcional: Sistema dinâmico	37
Bloco funcional: cabeçal aditivo.....	48
Bloco funcional: Mesa de adição.....	54
8. Validação do Artefacto.....	56

9. Discussão de Resultados	59
Conclusão	61
Bibliografia.....	63

Lista de figuras

Figura 1 - Extrusora com vários bicos para deposição de vários materiais.....	6
Figura 2 - Tecnologias utilizadas para 3DFP	7
Figura 3 – Tipos de mecanismo de extrusão	8
Figura 4 - Impressão através de InkJet	Erro! Marcador não definido.
Figura 5 - Diagrama esquemático da sinterização utilizando Laser como exemplo .	Erro! Marcador não definido.
Figura 6 – Terminologia comum para descrever texturas de comidas e espessura de líquidos	32
Figura 7 - Exemplo de um possível alimento para 3DFP	33
Figura 8 - Exemplo esquemático de um alimento com o interior modificado	34
Figura 9 - Exemplo de diferentes tipos de padrões para o infill do objeto com a mesma percentagem.....	35
Figura 10 - Diferentes percentagens de infill: a) 35%; b) 50%; c) 20%; d) 100%	35
Figura 11 - Configurações de sistema dinâmico	38
Figura 12 - Eixo Cartesiano.....	39
Figura 13 - Diagrama de configuração Delta	40
Figura 14 – Esquema de configuração polar	41
Figura 15 - Exemplo de uma posição possível do braço da configuração Scara.....	42
Figura 16 - Esquema do sistema dinâmico.....	43
Figura 17 – Exemplo de um objeto multimaterial sendo cada cor um tipo de material diferente.....	44
Figura 18 – Exemplo esquemático do bloco funcional: sistema dinâmico	45
Figura 19 – Exemplo de um possível modelo de impressão de uma refeição.....	46
Figura 20 – Extrusão com parafuso, exemplo esquemático	49
Figura 21 - Extrusão com auxílio de seringa, exemplo esquemático	50
Figura 22 – Extrusão com pressão de ar, exemplo esquemático	51
Figura 23 - Cabeçal aditivo esquemático	53
Figura 24 - Exemplo esquemático do bloco funcional: Cabeçal aditivo.....	53

Lista de Tabelas

Tabela 1 - As sete categorias do fabrico aditivo segundo a norma ISO.....	4
Tabela 2 - Identificação dos entrevistados	22

Abreviações e acrónimos

3D	Três Dimensões
3DFP	<i>3D Food Printing</i>
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
CAD	<i>Computer Assisted Design</i>
CJP	<i>Color Jet Printing</i>
CLAD	<i>Construction Laser Additive Direct</i>
CUF	Companhia União Fabril
DLS	<i>Digital Light Synthesis</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
FA	Fabrico Aditivo
FDM	<i>Fused Depositon Modeling</i>
HSS	<i>High Speed Sintering</i>
IDDSI	<i>The Internadional Dysphagia Standardisation Initiative</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LENS	<i>Laser Engineered Net Shaping</i>
LOM	<i>Layer Object Manufacturing</i>
MJP	<i>Digital Light Processing</i>
SCARA	<i>Selective Compliant Assembly Robot Arm</i>
SLA	<i>Stereolitrography</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>

1. Introdução

Esta dissertação está inserida no Mestrado de Engenharia para Fabricação Digital Direta, surgindo como proposta de aplicação das tecnologias de fabrico aditivo a áreas fora daquilo considerado normal, neste caso na área alimentar e na área da saúde.

A aplicação do fabrico aditivo dentro desta área surge em concordância com o mestrado lecionado, focado nas tecnologias de Fabrico Aditivo. Neste sentido, esta dissertação foca-se na resolução de um problema relacionado a alimentação em instituições que acolhem idosos em regime de longa ou frequente institucionalização, com particular enfoque nos idosos com dificuldades de deglutição. Este estudo parte da (1) recolha de informação que possibilite a definição das características de alimentos, nomeadamente a nível nutricional, textura, entre outros, de forma a posteriormente conceptualizar um artefacto, partido depois para (2) a conceptualização de um sistema de fabrico aditivo que permita personalizar os alimentos de acordo com as necessidades do doente, preenchendo, desta forma, uma necessidade da sociedade.

Assim sendo, ao longo da dissertação, será apresentado o (1) o estado atual da tecnologia de fabrico aditivo na alimentação, (2) estado da arte em alimentos relacionados com o problema acima exposto na área de alimentos para idosos e, (3) finalmente serão apresentados os requisitos para um potencial artefacto aplicável para solucionar o problema.

Organização dos conteúdos expostos

A dissertação foi dividida em 10 capítulos para a conclusão do caso de estudo.

No primeiro capítulo é realizado uma apresentação do enquadramento da dissertação, onde é realizada uma breve apresentação dos objetivos e metodologia utilizada.

No segundo capítulo, é apresentada a problemática da investigação onde é feita uma revisão rápida e é identificado o problema que irá ser desenvolvido.

No capítulo três, é realizada uma análise geral ao estado da arte atual da impressão 3D de alimentos e da sua aplicação nas mais variadas áreas.

No quarto capítulo é feita uma revisão da literatura de forma a suportar a pesquisa realizada ao longo da dissertação. Iniciando-se com uma breve explicação da impressão 3D.

No capítulo cinco, começa-se por mostrar e explicar a metodologia aplicada neste caso de estudo. É através deste capítulo que é apresentado a linhas de guia para a realização das respostas à pergunta de partida.

No capítulo sexto é mostrado como foram realizadas as entrevistas de forma a procurar soluções para o problema encontrado, bem como os requisitos para cumprir os objetivos.

Após encontrar estas soluções, no capítulo sete são aplicadas numa conceptualização de um artefacto de forma a combater o problema encontrado, definindo assim as características do mesmo.

No fim da conceptualização do artefacto, este capítulo é seguido pela discussão de resultados onde são discutidos os resultados da conceptualização do artefacto bem como a sua interpretação e aplicação dentro da problemática.

No nono capítulo é realizada uma conclusão final, onde se conclui o caso de estudo de forma a conseguir perceber a sua viabilidade.

Finalizando com o último capítulo onde são mostradas expectativas para o futuro dentro da área a qual a dissertação é realizada. Podendo demonstrar possíveis novas dissertações bem como formas de combater o problema encontrado.

2. Problemática

O Fabrico Aditivo (FA) é uma tecnologia em expansão, que teve, nos últimos anos, um desenvolvimento muito acentuado. Inicialmente esta tecnologia era denominada Prototipagem Rápida, sendo desenvolvida nos anos 80 (Dankar et al. 2018; Liu et al. 2017; Mantihal, Kobun, and Lee 2020).

Trata-se de uma tecnologia através da qual é possível obter peças, protótipos e objetos em três dimensões. Ao contrário das tecnologias subtrativas, como o próprio nome indica, tecnologia na qual o objeto é obtido através da remoção de volume de material a partir de sólidos até atingir o objeto final (Wang et al. 2014), no processo de fabricação pela tecnologia de Fabrico Aditivo pressupõe-se a criação do objeto através da adição de material, construindo o mesmo camada a camada, em que cada camada terá uma certa espessura, originando um objeto final que se aproxima do objeto virtual, sendo que quanto mais finas forem as camadas, mais suaves serão as superfícies e, logo, mais aproximado será o objeto do modelo digital. Por outro lado, quanto mais finas forem as camadas, maior será o número de passagens que a máquina terá de fazer e, por conseguinte, maior o tempo despendido no processo de fabricação (Wang et al. 2014).

Estamos perante uma tecnologia que permite a criação de objetos 3D com geometrias complexas, com parametrização de aspetos como a estrutura, o tamanho e resistência, possibilitando a customização em massa sem afetar negativamente tanto a economia como o meio ambiente, quando comparado ao método subtrativo (Pérez et al. 2019; Zhu et al. 2019).

Esta tecnologia tem vindo a ser desenvolvida e comercializada, existindo tipos de processos que se integram no FA, variando o estado do material utilizado que pode ser líquido, em pó, em filamento, em folha dependendo da forma como o objeto é construído (Wang et al. 2014).

No âmbito do Fabrico Aditivo existem tecnologias como *Stereolithography (SLA)*, *Fused Deposition Modeling (FDM)*, *Selective Laser Sintering (SLS)*, entre outras, em que os materiais utilizados são na sua generalidade polímeros, cerâmicas e metais, pois cada vez mais têm sido adaptados outros tipos de materiais (B.A et al. 2021; Guo and Leu 2013; Wong and Hernandez 2012).

Estas tecnologias estão separadas por sete categorias, segundo a norma ISO 17296-2:2015, tal como podemos observar na tabela 1.

Este processo traduz-se na facilidade de produzir objetos complexos, sem que seja necessário o planeamento do processo, ao contrário de outros processos de fabrico que exigem uma análise cuidada e detalhada, de forma a determinar as ferramentas que irão ser utilizadas e os processos necessários para chegar ao objeto final completo (Wang et al. 2014).

Tabela 1 - As sete categorias do fabrico aditivo segundo a norma ISO (adaptado de Monzón et al. 2015)

Categorias de Processos de fabrico aditivo	Materiais	Exemplos que utilizam este processo
Fotopolimerização em Câmara	Resinas Fotossensíveis	<i>SLA, Digital Light Processing (DLP), Digital Light Synthesis (DLS)</i>
Processos de Impressão de Material	Termoplásticos, Ceras, Fotopolímeros, Metais	<i>Multi-jet Printing (MJP), PolyJet</i>
Impressão de Aglomerante	Polímeros, Metais e pós cerâmicos	<i>Color Jet Printing (CJP), High Speed Sintering (HSS)</i>
Extrusão de Material	Polímeros e compósitos	FDM
Fusão em Camada de Pó	Polímeros, Metais e pós cerâmicos	<i>Selective Laser Melting (SLM), SLS</i>
Laminação em Folhas	Papel, Metal e Polímeros	<i>Layer Object Manufacturing (LOM)</i>
Deposição Direcionada de Energia	Metal, Pós e Filamentos	<i>Laser Engineered Net Shaping (LENS), Construction Laser Additive Direct (CLAD)</i>

Fabrico aditivo aplicado à produção de alimentos

Com o desenvolvimento da tecnologia de fabrico aditivo, esta começou a ser aplicada a áreas e a materiais para além das áreas ditas “tradicionais” (Dankar et al. 2018), começando a ser aplicada a setores diferentes daqueles que seriam, numa primeira linha, expectáveis, nomeadamente, o setor da indústria alimentar. Quando utilizamos como material os alimentos aplicados ao processo de fabrico aditivo, denominamos de *3D Food Printing* (3DFP).

Sendo um processo ainda limitado, uma vez que se tentarmos aumentar a velocidade de produção do mesmo, este poderá danificar o objeto final bem como os componentes da máquina (Le-Bail, Maniglia, and Le-Bail 2020), torna-se difícil de ser industrializado, uma vez que qualquer sistema que seja a base de extrusão, que é o processo mais facilitado a nível tecnológico, é ainda um pensamento distante para produção em massa, a não ser que sejam utilizados sistema de FA a trabalhar em paralelo, processo que se torna pouco viável a nível económico (Le-Bail et al. 2020). Este processo de impressão 3D de alimentos pode ser aplicado para a criação de alimentos com geometrias complexas e texturas variadas, que seriam impossíveis ou muito difíceis e caras de obter através de métodos tradicionais (Pinna et al. 2016).

A utilização desta tecnologia no contexto da indústria alimentar engloba vários aspetos e constitui uma grande vantagem face à produção tradicional, pois torna este processo rentável e diminui os desperdícios de alimentos que existem nos dias de hoje, ou seja, os alimentos apenas serão cozinhados e preparados quando são pedidos, poupando água e energia (Dankar et al. 2018). Os alimentos estão cada vez mais a ser modificados de forma a cumprir critérios como forma, sabor, custo, conveniência e nutrição do consumidor final (Dankar et al. 2018; Lipton et al. 2015; Pallottino et al. 2016; Piyush, Kumar, and Kumar 2020). Esta tecnologia fornece-nos então o poder de conseguirmos controlar não só a liberdade geométrica, mas a possibilidade no controlo da estrutura interna do objeto, podendo, assim, modificar a textura do mesmo ou até mesmo utilizar outros materiais para o seu interior (figura 1), podendo, desta forma, modificar a sua composição e controlá-la (Dankar et al. 2018; Mantihal et al. 2020).

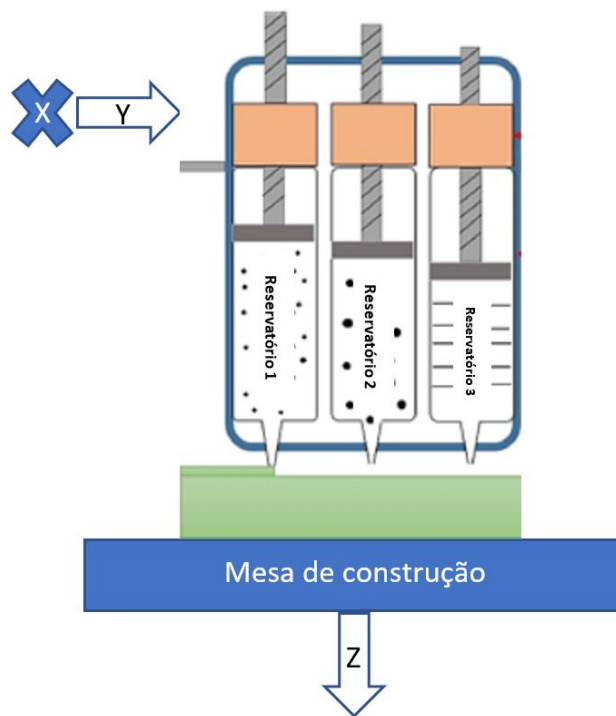


Figura 1 - Extrusora com vários bicos para deposição de vários materiais (adaptado de Lipton et al. 2015)

Tipos de processos de 3DFP

Existem vários tipos de tecnologias no processo de 3DFP, nestes pode variar o estado do material, a forma como este é impresso, entre outros. Com o auxílio da figura seguinte podemos verificar exemplos dos processos que são as mais adequados para 3DFP (Dankar et al. 2018), entre elas temos: Impressão por extrusão (figura 2 I), impressão através de Inkjet (figura 2 II), impressão por sinterização através de ar quente (figura 2 III) e por Laser (figura 2 IV) e, por fim, impressão através de um elemento ligante (figura 2 V).

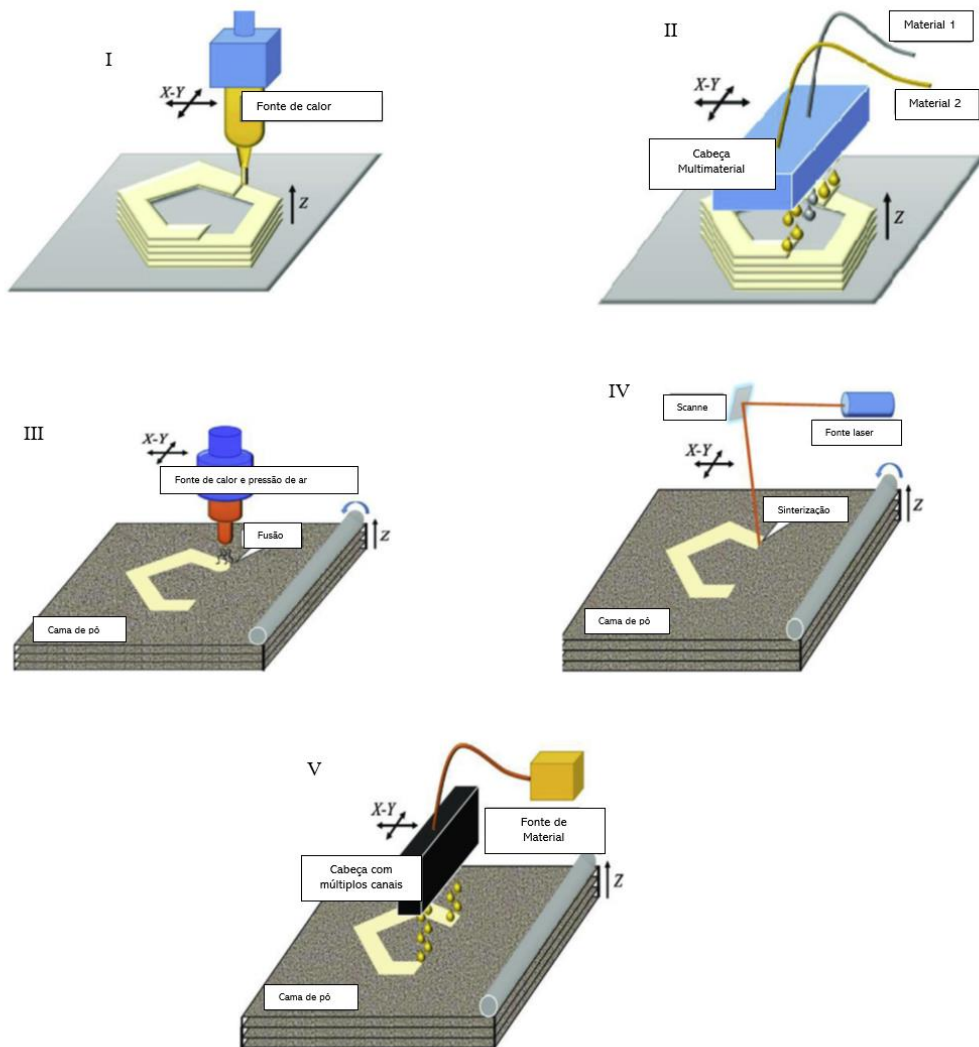


Figura 2 - Tecnologias utilizadas para 3DFP (adaptado de Dankar et al. 2018)

Extrusão

O processo de extrusão de material torna-se a mais favorável para 3DFP, no entanto, inicialmente era utilizada para fabricar produtos plásticos, método denominado por *FDM* (Guo, Zhang, and Bhandari 2019; Liu et al. 2017; Shi et al. 2022; Sun et al. 2018).

A extrusão é um processo que força a saída de um material líquido, semissólido ou sólido por um bico de extrusão, de forma a criar objetos 3D formando pequenas secções (Wang et al. 2014) do modelo CAD, isto demonstra que o modelo digital é construído através de um bico com pressão constante onde este é então construído camada a camada. O processo de extrusão pode ser de 4 tipos: Do estilo seringa (figura 3 a),

através de rodas dentadas (figura 3 b), extrusão através de parafuso (figura 3 c) e extrusão através de pressão do ar (figura 3 d).

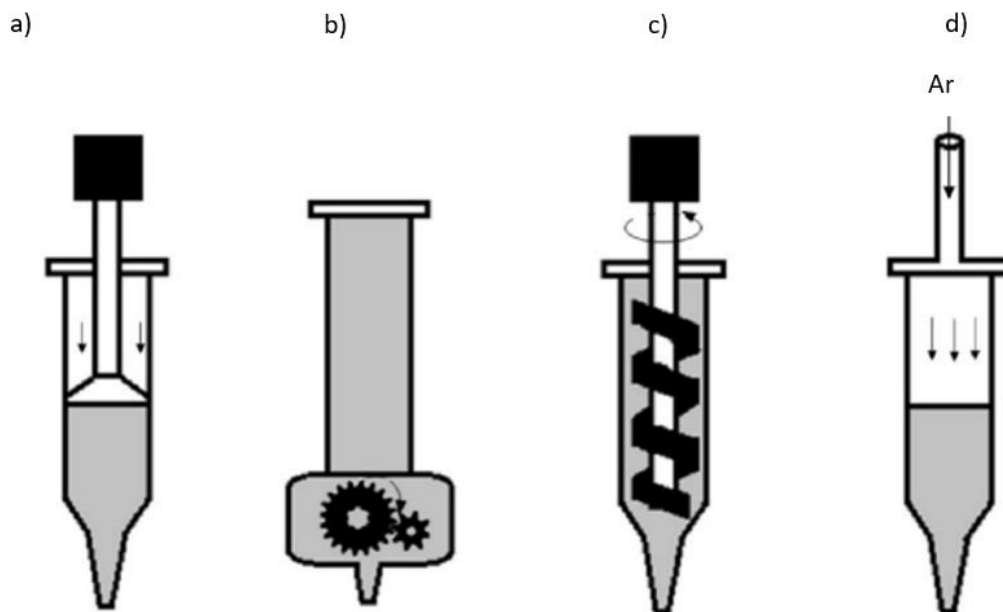


Figura 3 – Tipos de mecanismo de extrusão (adaptado de Shi et al. 2022)

InkJet

A Tecnologia de impressão através de *Inkjet* é um processo em que o objeto é criado através da deposição de gotículas sobre a plataforma, utilizando 2 materiais, sendo 1 uma espécie de elemento ligante, utilizando um bico de impressão que vai depositando material à medida que este é preciso, através de um mecanismo térmico ou piezoelétrico (Nachal et al. 2019).

Numa tecnologia que utilize o mecanismo piezoelétrico o método utilizado é um método contínuo, pelo qual é ejetado o material através de um cristal piezoelétrico que vibra a uma frequência constante. Para assegurar o *flow* do material são adicionados agentes condutores (Liu et al. 2017; Mantihal et al. 2020; Pitayachaval, Sanklong, and Thongrak 2018).

Já no sistema aditivo que utiliza mecanismo térmico, a cabeça gera pulsos de pressão através do bico, utilizando o método de “*drop-on-demand*”. É um método mais lento quando comparado ao contínuo, no entanto os objetos criados têm mais resolução e precisão (Godoi, Prakash, and Bhandari 2016; Liu et al. 2017; Pitayachaval et al. 2018). Esta tecnologia consegue atingir uma resolução numa única cabeça de impressão de 70 a 90 pontos por cada polegada ao quadrado.

Este tipo de tecnologia utiliza materiais com baixa viscosidade, fazendo com que estes não consigam segurar uma estrutura em três dimensões. Como tal, esta tecnologia é utilizada para criar imagem em duas dimensões, sendo uma técnica utilizada mais para decoração (Le-Bail et al. 2020; Sun, Peng, Zhou, et al. 2015; Sun, Zhou, et al. 2015)

Sinterização

Este tipo de processo utiliza dois métodos para a sinterização, nomeadamente sinterização através de laser e sinterização através de ar quente.

Este processo utiliza materiais em pó, utilizando uma fonte de calor para definir a imagem 2D na cama de pó, fundindo as partículas de forma a se unirem e formarem uma camada sólida. De seguida, é depositada uma nova camada de pó por cima da zona fundida, repetindo assim o processo até a formação do objeto sólido. Este método (Figura 5) tem a desvantagem de ser necessário remover o material não fundido no fim da construção do objeto 3D, no entanto este também serve de suporte para a estrutura do objeto (Godoi et al. 2016; Le-Bail et al. 2020; Sun, Zhou, et al. 2015).

A vantagem deste processo é poder colocar diferentes materiais em cada nova camada do material e conseguirem sinterizar qualquer material que esteja em forma de pó (Godoi et al. 2016; Mantihal et al. 2020).

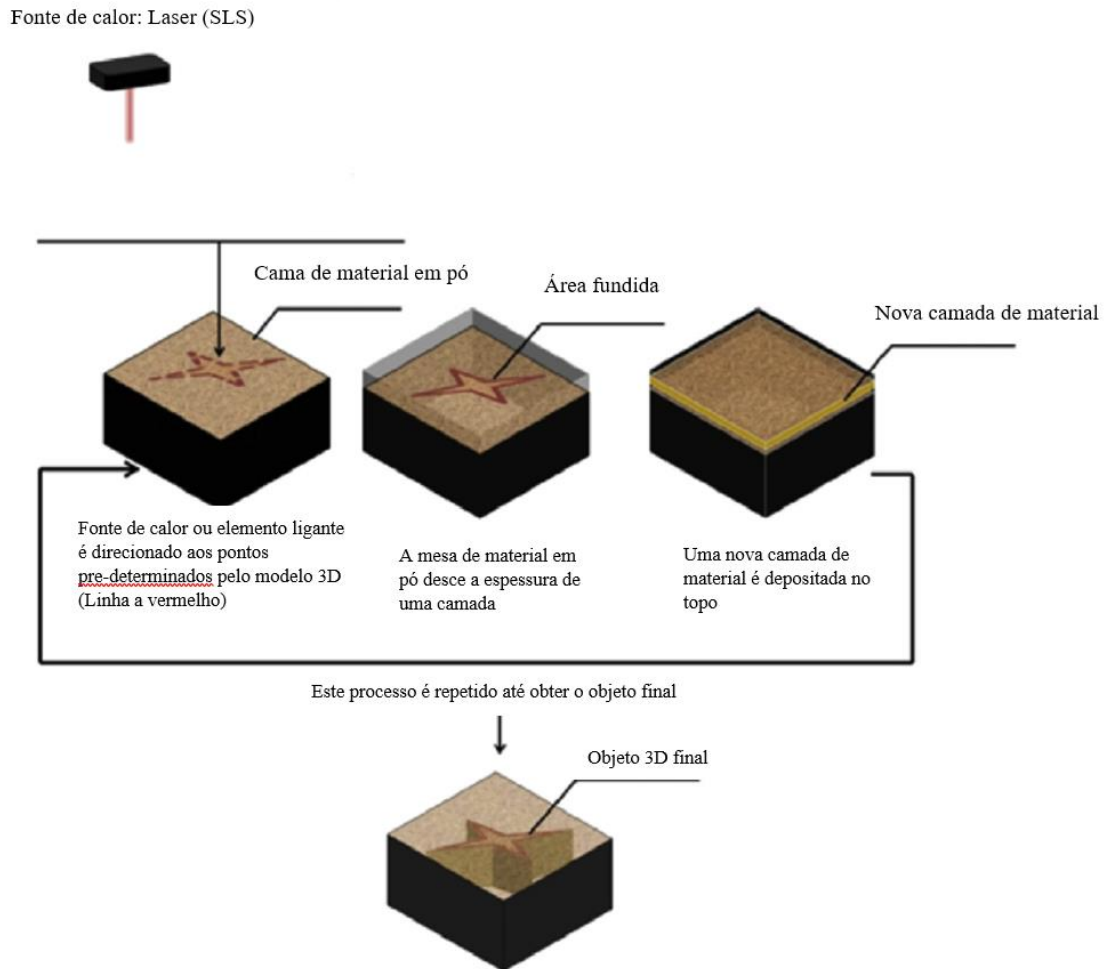


Figura 4 - Diagrama esquemático da sinterização utilizando Laser como exemplo (adaptado de Godoi et al. 2016)

Alimentos como material no Fabrico Aditivo aplicado ao setor alimentar

Uma das principais dificuldades quando aplicamos a impressão 3D ao setor alimentar é os materiais, o principal desafio é conseguir alinhar os materiais com os processos de impressão 3D, pois, estes devem conseguir ser impressos, mantendo as suas propriedades (Mantihal et al. 2020). Isto é, executar o processo de impressão de forma a que as diferentes camadas possam ser depositadas, mantendo a estrutura 3D e produzindo artigos que, posteriormente, podem ser submetidos a métodos de pós-processamento, como fritar, cozer, entre outros (Godoi et al. 2016; Sun, Peng, Zhou, et al. 2015). Todas as variáveis dependem muito das propriedades do material, como tal, podemos dividir os materiais em 3 categorias (Sun, Peng, Zhou, et al. 2015): Materiais naturalmente impressos, ou seja,

o alimento no seu estado natural consegue preencher os requisitos necessários para ser produzido através de 3DFP, materiais utilizados diariamente, isto é, são alimentos que são utilizados com regularidade no quotidiano, como arroz, carne, fruta, vegetais, etc., e ainda, materiais alternativo, onde estes não são utilizados diariamente mas mostram-se com potencial para utilização em 3DFP.

Materiais naturalmente impressos

Estes materiais podem ser extrudidos facilmente através de uma seringa e podem ser completamente controlados a nível de sabor, valor nutricional e textura sendo que muitos destes conseguem manter a sua estrutura sem precisar de pós processamentos, ou seja, são materiais cuja estrutura natural consegue ser utilizada para impressão 3D (Dankar et al. 2018; Lipton et al. 2015; Sun, Peng, Zhou, et al. 2015). Desde tipo de materiais temos:

- Hidrogel (tipo gelatina e gel de limão)
- *Cake Frosting*
- Chocolate
- Húmus
- Queijo
- Açúcar em pó
- Farinha
- Puré de Batata
- Massa fresca

Materiais utilizados diariamente no cotidiano

Neste tipo de material, que consideramos os alimentos mais utilizados pelo ser humano no cotidiano, temos alimentos como arroz, carne e vegetais que são muito consumidos diariamente e que pela sua natureza não conseguem ser impressos e não conseguem cumprir características ideais para 3DFP (Sun, Peng, Zhou, et al. 2015). Desta forma, existe a necessidade de utilizar aditivos de forma a alterar as propriedades dos mesmos e estes consigam ser impressos e aguentem a sua estrutura após a impressão seguindo-se, em alguns casos, um pós-processamento, seja este fritar, cozer, etc. (Dankar et al. 2018). Quando os alimentos necessitam então de um pós-processamento, com pós-processamento entendemos como um processamento que é realizado após a sua impressão, neste caso será a necessidade de serem cozinhados de alguma forma, seja fritar, cozer, assar, etc., onde cada um destes pós-processamentos envolve, níveis diferentes de penetração do calor resultando numa mudança nas propriedades do alimento desde volume, valor nutricional, mudança na cor, perda de água, entre outros (Dankar et al. 2018; Sun, Peng, Zhou, et al. 2015; Sun, Zhou, et al. 2015).

Muitos alimentos sólidos e líquidos ou semissólidos foram modificados de forma a conseguirem ser impressos, no entanto devido à imensidade de alimentos existentes no dias de hoje torna-se difícil conseguir testar e modificar todos os ingredientes utilizados tradicionalmente numa cozinha e conseguir prepará-los para a 3DFP (Dankar et al. 2018).

Materiais alternativos

Utilizar materiais alternativos pode ser uma forma de conseguir solucionar a crise global de alimentos (Sun, Peng, Yan, et al. 2015). Estes materiais são extraídos de fontes de proteína e fibra que não são considerados normais ou tradicionais, assim sendo, estes materiais são extraídos de algas, insetos, tremoços e onde estas extrações de proteínas e fibra poderá ser utilizado em outros ingredientes e conseguir criar novos produtos alimentares que possam ser impressos e combater esta crise global que ocorre a nível de produção de alguns alimentos como carnes animais (Dankar et al. 2018; Sun, Zhou, et al. 2015).

Aplicações

Existem algumas possibilidades de aplicações desta tecnologia desde a área militar, hospitalar, restaurantes, cafés, pastelarias, onde a sua aplicação pode variar (Mantihal et al. 2020). Quando é utilizado em restaurantes, cafés e pastelarias é num sentido mais de decoração e de aspeto dos alimentos de forma que estes pareçam apelativos (Lipton et al. 2015). No entanto, a 3DFP pode fazer mais além de decoração, consegue controlar a textura, valor nutricional, características importantes quando pensamos em áreas mais específicas, onde a necessidade desta customização dos alimentos é importante (Lipton et al. 2015; Liu et al. 2017; Mantihal et al. 2020; Pinna et al. 2016).

Uma das principais vantagens da 3DFP é a possibilidade de modificação da constituição do produto final, desta forma permitidos uma criação do objeto focada no consumidor final, ou seja, modificar características como textura, valor nutricional, forma, sabor, etc., desta forma, conseguimos aplicar a 3DFP numa área muito importante de forma a combater um problema existente no nosso dia a dia, ou seja, problemas de saúde nos idosos a nível de mastigação e deglutição (Liu et al. 2017). Os idosos constituem uma faixa etária que denota mais propensão e apresenta mais diagnósticos de problemas ao nível da alimentação. De forma a minimizar estes problemas, os idosos são muitas vezes alimentos por alimentos com apresentação pouco atraente, muitas vezes derretidos ou em papas, deste forma, estes perdem apetite acontecendo deficiências nutricionais (Liu et al. 2017; Pinna et al. 2016). Desta forma, a 3DFP conseguirá controlar os fatores como textura, forma, sabor, valor nutricional, para combater este problema e evitando ao máximo as faltas de apetite bem como os défices nutricionais (Liu et al. 2017; Sun, Peng, Zhou, et al. 2015).

Também à semelhança da aplicação anteriormente mencionada, este tipo de forma de conceder o produto final, pode ser aplicado a áreas como a militar e aeronáutica, onde o fator de customização de um produto alimentar a nível nutricional, personalizando-o de forma a cumprir as necessidades de cada um e as suas características físicas como a idade, peso, condição física, etc., faz com que a utilização desta tecnologia seja muito favorável nestas áreas, pois o produto final é adaptada a cada caso (Liu et al. 2017; Sun, Zhou, et al. 2015).

O problema da disfagia em idosos

O aumento da longevidade humana é um fator que tem cada vez mais vindo a aumentar ao longo dos anos, o que indica também que também irá existir maior prevalência de doenças próprias do envelhecimento, assim, a necessidade de tratamentos e serviços médicos também se torna maior (Angelina, Jobim, and Furtado 2015; Pereira, Cotta, and Frabceschini 2006; Sousa 2012).

O envelhecimento trás inúmeros fatores durante a sua jornada, como o declínio do funcionamento físico, aparecimento de doenças e isolamento social, fatores estes que influenciam na qualidade de vida do paciente bem como numa das funções mais básicas e vitais do ser humano que é a deglutição (Carolina et al. n.d.; Jung et al. 2022; Pereira et al. 2006). Com o envelhecimento agrava-se um sintoma denominado de disfagia, que no fundo consiste numa alteração no ato de engolir que torne a ingestão oral não segura. Este problema traz consequências perigosas ou até mesmo fatais. Pode ocorrer em qualquer faixa etária onde a deglutição é comprometida seja por alteração motora ou sensorial (Carrara AAE 2009; Santos 2019).

A disfagia é um termo que se refere a um sintoma relacionado com qualquer alteração no ato de engolir que dificulte ou impeça a ingestão oral segura, eficiente e confortável. Esta, pode ocorrer em quaisquer faixa etária, como consequência de várias condições médicas e até psíquicas (Carrara AAE 2009).

A nutrição quando não realizada de forma correta, mostra se então, um dos fatores principais consequentes da disfagia, mostrando que em admissões hospitalares entre 25 a 50% dos utentes se mostrem desnutridos, o que aumenta o tempo de internamento e a frequência com que são readmitidos, aumentando assim a mortalidade nos idosos (Pereira et al. 2006; Sousa 2012). A má nutrição irá então destacar fatores de risco como sobrepeso, que por sua vez irá aumentar a pressão arterial, modificação de certos metabolismos aumentando assim o surgimento de novas doenças, e também, a subnutrição, onde a perda de peso excessiva torna-se um fator de risco (Diañez et al. 2021; Jung et al. 2022).

Idosos, disfagia e tecnologia de fabrico aditivo

A forma convencional da dieta dos idosos que sofrem de disfagia, como mencionado anteriormente, é a base de purés, líquidos espessos, entre outros, esta forma de alimentação é difícil quando pensamos na mudança de textura, tornando o alimento com uma má apresentação, diluído nutricionalmente e muitas vezes tornando a escolha de alimentação bastante reduzida, fazendo com que muitas vezes os pacientes não se alimentem devidamente e por vezes recusem a alimentação (Dick, Bhandari, and Prakash 2021).

Para os idosos, nomeadamente que sofrem de disfagia, o controlo da textura torna-se então um fator de extrema importância devido ao risco de aspiração e asfixia. É necessário então que os consumidores, neste caso os idosos, não só tenham a textura apropriada mas também o aspeto visual de forma a que os alimentos se encontrem apetitosos e a recusa de alimentação não aconteça (Pereira, Barroso, and Gil 2021).

É então aqui, que entra a impressão 3D, nomeadamente o 3DFP, na área alimentar focado em idoso com disfagia: esta tecnologia permite então a criação de um alimento onde se poderá personalizar o seu valor nutricional, a sua forma e a sua textura, tornando assim os problemas anteriormente mencionados mais facilmente controlados (Dick et al. 2020, 2021; Xing et al. 2022).

Isto demonstra que a 3DFP consegue controlar inúmeros fatores importantes quando pensamos em modificar o tipo de alimento impresso, no entanto devemos principalmente pensar que tipo de máquina consegue alcançar este tipo de necessidades e solucionar os problemas encontrados dentro desta área, desde à conceção da matéria-prima aos componentes da máquina.

3. Problema de Investigação e Objetivo

Da problemática acima descrita, o FA é hoje uma tecnologia disruptiva aplicada em inúmeros casos de sucesso. A sua aplicação ao subsetor da saúde, poderá contribuir para melhorar a qualidade de vida dos idosos, e resolver os problemas resultantes da sua natural dificuldade em ingerir alimentos sólidos.

Neste contexto, poder-se-á colocar o seguinte Problema de Investigação: Poderá a Tecnologia de FA ser solução em produção de alimentos adaptados às limitações provocadas pela disfagia em idosos?

Encontrar uma possível solução para este problema torna-se, assim, o objetivo principal desta investigação. Para atingir este objetivo, ao longo deste trabalho será utilizada a metodologia *Design Science Research* (DSR), seguindo os passos recomendados pela mesma (Peffer et al. 2007): (1) definição dos requisitos conceptuais de um sistema de fabrico aditivo em alimentos; (2) desenvolvimento dos blocos funcionais do sistema; e (3) avaliação das funcionalidades do sistema.

4. Revisão de literatura

A impressão 3D, também conhecido como fabrico aditivo ou prototipagem rápida, tem sido uma tecnologia cada vez mais em ascensão, onde cada vez mais está a ser estudada através da sua variedade imensa de áreas possíveis para a sua aplicação como medicina, gastronomia, engenharia, fabrico, arte e educação (Dankar et al. 2018). Sendo um processo automatizado, que consiste no controlo de um processo robótico onde um produto é construído através de uma construção camada a camada através de um modelo digital previamente desenhado através de programas de *Computer Assisted Design* (CAD), fornecendo assim uma flexibilidade de construção grade a nível de geometria do objeto (Dankar et al. 2018; Piyush, Kumar, and Kumar 2019). Este tipo de tecnologia consegue utilizar uma grande variedade de matérias-primas, como polímeros, metais, cerâmicas e cada vez mais é estudado as matérias-primas que podem ser utilizadas no fabrico aditivo, como biomateriais e até mesmo alimentos (Piyush et al. 2019).

Cada vez mais, existe o interesse em procurar alimentos com características específicas a nível da sua composição, estrutura e propriedades, esta procura deve-se ao aumento da procura de alimentos personalizados a nível nutricional de forma a conseguir controlar melhor a alimentação de cada pessoa, ou até mesmo para fchas etárias da população, como idosos, que necessitam de dietas específicas que diferem de individuo para individuo (Le-Bail et al. 2020). Desta forma, a impressão 3D demonstra possibilidade na sua aplicação no setor alimentar para combater problemas e procuras de alimentos customizados (Pinna et al. 2016). É dentro deste pensamento que existe a necessidade de aplicação do fabrico aditivo ao setor alimentar, a possibilidade de conseguir controlar e customizar os valores nutricionais de alimentos impressos demonstra uma possibilidade desta junção do setor alimentar com o fabrico aditivo, no entanto, a variedade alimentar bem como as propriedades dos alimentos ainda se encontram pouco conhecidas e com poucos artigos científicos sobre os mesmos (Piyush et al. 2019). Assim sendo, existe a necessidade de conseguir perceber a forma como os materiais utilizados em 3DFP se comportam, bem como as suas propriedades de forma a conseguir chegar as possibilidades e as suas aplicações como área militar, aeronáutica, ou mesmo aplicada a setores da saúde de forma a controlar intolerâncias e cumprir com as necessidades nutricionais de cada pessoa (Dankar et al. 2018; Le-Bail et al. 2020; Pinna et al. 2016; Piyush et al. 2019).

É então com a possibilidade de alteração das características dos alimentos que podemos aplicar a casos como idosos com disfagia.

A disfagia é um dos problemas de saúde que afeta 14% da população a cima de 50 anos, e principalmente entre 40-50% em idosos residentes em instituições, que pode ser consequência de problemas neurológicos, musculares e até mesmo estruturas patológicas ou induzido por medicação (Diañez et al. 2021; Dick et al. 2020). Isto faz com que a alimentação de doentes com disfagia se torne diferente daquilo que é expectável, nomeadamente, na alteração da consistência dos alimentos, da sua textura e principalmente da forma como estes são apresentados, por isso, altera a ingestão de alimentos e de líquidos alterando assim aquilo que seria uma nutrição adequada e normal (Germain 2017; Sura et al. 2012).

Deste forma, torna-se uma prioridade que a nutrição da população idosa seja realizada corretamente, no entanto a forma como é feita a dieta do utente depende do seu nível de disfagia, onde este é avaliada e determinada de forma a definir a via alternativa para a alimentação que se deve utilizar (Carrara AAE 2009). Convencionalmente, é através da modificação da textura e da consistência dos alimentos, através da utilização de líquidos engrossados, alimentos picados, em puré ou do tamanho de uma dentada (Dick et al. 2020), que é utilizado consoante a avaliação realizada para definir a disfagia do doente e podendo variar consoante a instituição e o tipo de protocolo utilizado (Carrara AAE 2009; Diañez et al. 2021). A má nutrição pode afetar negativamente toda a saúde do idoso, surgindo problemas posteriores, tornando-se um fator de risco e desencadeando outras tipos de problemas (Diañez et al. 2021; Jung et al. 2022).

5. Metodologia

Uma metodologia de investigação consiste num conjunto de regras e procedimentos, aceites pela comunidade académica para a construção de conhecimento científico (Lacerda et al. 2013).

Porque muitas vezes se confundem, *Design Science (DS)* e *Design Science Research (DSR)* (Peffer et al. 2007) tem significados diferentes. Enquanto DS se refere a uma disciplina científica que estuda e avalia sistemas potencialmente realizáveis, por outro lado, adotando a DS como base epistemológica, DSR é uma metodologia de investigação que acrescenta conhecimento em DS e concebe artefactos para a resolução de problemas práticos (Lacerda et al. 2013).

Considerando que a ciência artificial, procura definir e conceptualizar artefactos partindo dos seus pressupostos (vom Brocke, Hevner, and Maedche 2020), esta acaba por ser a tarefa das escolas de engenharia criando e projetando artefactos com propriedades e objetivos bem definidos (Lacerda et al. 2013).

O método DSR pode então ser dividido de duas formas: Avaliação artificial e naturalística. A artificial avalia uma solução tecnológica de uma forma artificial e não realista, enquanto que a avaliação naturalística explora a performance de uma solução tecnológica num ambiente real, onde esta avaliação procura criticar e avaliar ao máximo de forma a conseguir provar a autenticidade da solução tecnológica (Pries-Heje, Baskerville, and Venable 2008). Apesar de parecer tipo de avaliações diferentes e opostas, estas complementam-se e apenas possuem sentidos diferentes, uma vez que inicialmente as máquinas projetadas para certos objetivos industriais foram inicialmente artificiais e posteriormente produzidas passando para a avaliação naturalística (Lacerda et al. 2013).

Sendo que por via da metodologia DSR se pretende desenvolver conhecimento para a conceptualização e desenvolvimento de artefactos (Peffer et al. 2007), este método envolve um processo rigoroso de conceptualização de forma a resolver problemas observados, e, ao mesmo tempo contribuir para o avanço da ciência (Lacerda et al. 2013; Peffer et al. 2007). Estes artefactos podem estar já construídos, podem ser modelos, métodos ou até objetos de determinada classe, a nível informático.

A DSR segue então certas regras para que seja utilizado. A mais importante é então produzir um artefacto que tem como objetivo a solução de um problema e este deve ser relevante para a solução de um problema não resolvido e importante (Venable, Pries-Heje, and Baskerville 2014). A sua utilidade, qualidade e eficácia devem ser avaliados de

forma a conseguirmos perceber se a sua conceptualização é relevante ou não (Lacerda et al. 2013; Peffers et al. 2007).

Entendendo-se por artefacto um “(...) objeto artificial com objetivos e funções bem definidos para cumprir o seu objetivo” (Peffers et al. 2007) deverá relacionar o seu objetivo, o carater e o ambiente onde este funciona, numa relação entre o ambiente interno do artefacto (as suas características) e o ambiente externo onde irá funcionar funciona. (Lacerda et al. 2013). Neste contexto, atendendo ao carater aplicado, optou-se pela metodologia *Design Science Research* nesta dissertação.

6. Requisitos conceptuais para sistema de FA em alimentos adaptados à disfagia

Para atingir os requisitos do artefacto de forma a combater o problema de investigação, nomeadamente, conseguir combater disfagia em idosos com a utilização do fabrico aditivo para alimentos fabricados por via aditiva, foi utilizada uma amostra de conveniência. Em cada caso de estudo a amostra analisada deve ser a população inteira com as características necessárias para a análise e o caso em estudo, no entanto, muitas vezes não existe a possibilidade de conseguir realizar esta análise total da população. A amostra de conveniência entra então como uma opção viável pois esta é um tipo de amostra onde os membros da população em estudo são selecionados de forma a cumprir certos critérios, como fácil acessibilidade, proximidade, disponibilidade ou até mesmo a vontade de participar no caso em estudo, assim, é necessário que a população esteja facilmente acessível ao investigador durante o caso de estudo. Amostras de conveniência tornam-se fáceis, baratas e os participantes facilmente se mostram disponíveis para realização da entrevista, torna-se então o principal objetivo de uma amostra de conveniência recolher informação dos participantes que são de fácil acesso. A principal suposição de uma amostra de conveniência é que esta seja mais homogeneizada possível, ou seja, os resultados obtidos supõem-se que se obteria o mesmo resultado com outros tipos de amostra. No entanto, uma das principais desvantagens deste tipo de amostra, é o facto do resultado não poder ser representativo da população geral (Etikan 2016).

Assim sendo, para conseguir atingir os requisitos do artefacto foram realizadas entrevistas a profissionais na área da saúde, através de uma amostra de conveniência, devido a facilidade de acesso aos selecionados, como proximidade ao investigador, bem como a disponibilidade e vontade de participação no caso de estudo.

Foi feita então uma seleção dos entrevistados de forma a conseguir perceber a forma como era realizada a alimentação e nutrição dos utentes de saúde, nomeadamente os idosos com disfagia. Através de diferentes tipos de profissionais consegue-se atingir perspetivas diferentes do problema bem como formas de solucionar os mesmos.

As entrevistas foram realizadas de uma forma mais informal, mas estruturada, desta forma, a esta era realizada na sua naturalidade e com seguimento de forma a conseguir adquirir a informação necessária sem qualquer entrave, isto é, manter uma relação interpessoal mantendo sempre o foco naquilo que era necessário responder ao longo da entrevista.

Na tabela seguinte encontramos a definição da área de trabalho do entrevistado bem como a instituição onde o mesmo realiza o seu trabalho.

Tabela 2 - Identificação dos entrevistados

Identificação	Profissão	Instituição
Entrevistado a)	Enfermeira	Lar Naturidade
Entrevistado b)	Enfermeira	Serviço urgência Hospital Santo André e Hospital Santa Cecília da Santa casa da Misericórdia
Entrevistado c)	Terapeuta da fala e professor universitário	Consultor no hospital CUF (companhia união fabril) e professor universitário na Escola Superior de Saúde de Alcoitão
Entrevistado d)	Terapeuta da fala e professor universitário	Clínica privada e professor na Escola Superior de Saúde de Leiria
Entrevistado e)	Auxiliar de saúde	Hospital São Francisco

A entrevista era iniciada com uma breve explicação daquilo que se iria discutir, bem como a explicação do porquê da realização da mesma ao entrevistado, desta forma, este consegue entender o tema a ser discutido e o porquê da sua seleção.

A entrevista foi realizada com o seguinte guião de forma a adquirir a informação necessária:

- I. Que tipo de consistência deve ter um alimento quando é necessário alimentar utentes com disfagia?
- II. Além da alimentação dita normal, é necessário a adição de suplementos à mesma? Ou seja, medicação, vitaminas, etc.
- III. Seria útil conseguirmos unir a alimentação junto com a medicação e outros suplementos à alimentação do utente?
- IV. Qual seria a forma que o alimento deve ter para facilitar a alimentação de um utente?
- V. De que forma são preparados e armazenados os alimentos para o consumo final?
- VI. Utilizaria um sistema de FA para auxílio de alimentação de um utente com disfagia?

Seguindo das respostas de cada entrevistado às mesmas.

Entrevistado a)

- i. Depende. Cada utente é avaliado de forma a definir o grau de disfagia do mesmo e então aí podemos definir que tipo de consistência deve ter o alimento. No entanto, o mais comum é utilizar uma consistência pastosa semelhante a puré e talvez sopa.
- ii. Sim, muitas vezes a medicação não é adequada ao utente pelo seu tamanho sendo muitas vezes necessário fazer com esta esteja integrada na comida para facilitar o seu consumo e também por vezes, é necessário adicionar outros tipos de suplementos quando temos dietas mais proteicas.
- iii. Sim, seria muito bom. Muitas vezes pessoas com alguma idade perdem apetite, a digestão é lenta e se utilizarmos suplementos após a alimentação podemos sobrecarregar o organismo, por tanto ao conseguirmos unir a alimentação com os suplementos e medicação permitimos que esta sobrecarga não aconteça.
- iv. A forma mais indicada seria sempre o mais parecido com o alimento real possível. Muitas vezes os utentes olham para aquilo que vão comer e pensam muito que são bebés e chamam a comida papas para bebés tornando-se muitas vezes difícil que comam, recusando assim a comida.
- v. Geralmente a comida é preparada na cozinha como é preparado qualquer alimento para uma alimentação dita normal, no entanto é tudo triturado após os processos

de cozinha. São guardados no frigorífico cerca de 1 ou 2 dias no máximo para ser consumido novamente.

- vi. Usaria, pois é algo que poderia mudar e melhorar a vida dos utentes. Se imaginarmos que temos um AVC aos 60 anos e vivemos até aos 80, iremos estar a comer papas quase sempre iguais todos os dias durante 20 anos.

Através do entrevistado a) conseguimos retirar a informação de que os alimentos que são dados a idosos com disfagia acabam por se tornar repetitivos e muitas vezes fazendo com que estes recusem a alimentação, desta forma é necessário combater ao máximo a não ocorrência desta recusa alimentar por parte dos utentes para que se consiga manter a nutrição nos níveis necessários para a qualidade de vida dos mesmos e não existam problemas a nível de saúde e que estes sejam prevenidos ao máximo. Logo, segundo o entrevistado a), o alimento deve ter uma forma muito parecida ao real e deve conseguir preencher os requisitos nutricionais do utente.

Entrevistado b)

- i. Depende do tipo de disfagia, se for disfagia a sólidos o alimento deve ser completamente líquido se for a líquidos a consistência deve ser mais pastosa, no entanto, o mais comum é disfagia a líquidos utilizando pós espessantes para espessar líquidos como água ficando uma espécie de gelatina e os alimentos também uma consistência mais pastosa.
- ii. Depende muito do caso, mas quando são comprimidos devem ser esmagados até ficarem em pó e adicionados ao líquido que irá ser espessado. Alguns utentes têm suplementos de vitaminas, entre outros tipos de suplementos, que depende da dieta do utente que é feita pelo nutricionista e geralmente é algo parecido com um iogurte. Normalmente, os alimentos são todos adicionados ao mesmo prato e triturados fazendo uma sopa, sejam os alimentos fruta, suplementos, tudo.

- iii. Era uma mais-valia, pois não eram feitas essas misturas fazendo com que muitas vezes os utentes não consigam alimentar-se totalmente o que resultaria numa quebra das necessidades nutricionais do utente.
- iv. O alimento não pode ser muito grande pois assim é difícil para a ingestão, caso sejam os próprios utentes a alimentarem-se e terem de agarrar o alimento. Não deve ser redondo, nem pode escorregar pois o alimento pode cair, sendo necessário ter algum relevo para facilitar o manuseamento. Na maioria das vezes os utentes já estão com uma idade avançada então o importante era ter autonomia para se conseguirem alimentar.
- v. Os alimentos são preparados tal e qual como se fossem preparados para pessoas sem condições especiais, é preparado na hora e geralmente não é congelado nem armazenado dessa forma.
- vi. Sim, acho que a partir do momento que é algo que podemos utilizar diariamente e que facilita a vida não só aos profissionais de saúde, mas principalmente aos utentes, seria algo que facilmente alguém gostaria de usar e ter acesso.

Com o entrevistado b) retira-se a informação de que é importante conseguirmos unir os alimentos com os suplementos que são necessários para a dieta do utente para que os requisitos nutricionais do utente consigam ser cumpridos, uma vez que muitas vezes a refeição não é ingerida na sua totalidade, ou por falta de apetite ou por excesso a nível de quantidade, assim o alimento deve ter a quantidade nutricional correta para que se consiga cumprir este requisito. Conseguimos também perceber que a qualidade e o estilo de vida do utente é um aspeto ao qual devemos estar atentos, o simples facto de um utente conseguir realizar a sua alimentação sem acompanhamento aumenta a qualidade de vida do mesmo e muitas vezes estes ao terem a sua autonomia irão alimentar-se na totalidade e da forma correta, e devido a sua autonomia as recusas não irão ocorrer, assim o alimento deve conseguir ter uma forma e uma textura na qual eles consigam pegar o alimento sem que este perca a sua forma e com a textura indicada para o utente com disfagia.

Entrevistado c)

- i. Depende da pessoa. Muitas vezes os alimentos têm uma consistência pastosa pelo seu facilitismo, quando o utente não tem dentes assume-se logo que este não consegue mastigar e muitas vezes é o contrário, no entanto são alimentados por alimentos com esta consistência pastosa estilo puré. No entanto, a textura mais indicada seria uma textura que conseguisse facilitar a alimentação do utente, mas que também fosse aproximada à textura do alimento real.
- ii. Muitas vezes os utentes com a idade começam a perder apetite, a perder vontade de ingerir líquidos, ou então, encontram-se sozinhos em suas casas e fazem restrição alimentar comendo apenas um ou dois alimentos ao longo do dia começando assim a ter alterações nutricionais como perda de peso por exemplo, nessas alturas é então necessário suplementar, no entanto, quem suplementa é o médico ou o nutricionista, sendo esses os únicos profissionais que o podem fazer e é algo que deve ser mesmo personalizado pois depende do historial da pessoa e depende da necessidade da pessoa. A medicação pode ser administrada apenas por médicos e enfermeiros, mas, no entanto, nem toda a medicação pode ser triturada, descapsulada para que se possa adicionar aos alimentos, há alguns medicamentos podem ser utilizados desta forma e esmagados, no entanto a grande maioria não permite isso.
- iii. Seria útil conseguirmos unir estas duas áreas, no entanto, esta junção, no presente, está longe de ser o ideal.
- iv. A mais parecida ao real. Existe um processamento visual e olfativo do alimento, seria importante que além da forma se conseguisse manter o cheiro do alimento, seja através de aditivos ou algo do estilo, pois em demências o cheiro é um dos fatores que mais impacto tem. A forma como nós percebemos a comida também modula o nosso próprio apetite, sendo isso muito relevante. Muitas vezes utilizam-se formas semelhantes aos brinquedos de crianças para brincar na praia, com a forma de um brócolo, da cenoura e fica muito próximo do real quando é empratado.
- v. O armazenamento normalmente não existe, mas o que normalmente acontece é: existe uma ementa e essa pode conter ou não um prato específico adaptado, geralmente mole e pastoso por definição pois é o mais universal e mais facilitado.

Quando não existe, utiliza-se a comida já existente, utiliza-se a sopa e tritura-se, utiliza-se carne e pica-se a mesma, utiliza-se puré que existir e põe-se nesse alimento adaptado. Há uma adaptação ao prato que já existe, é muito raro existir uma cozinha que faça um prato específico para os utentes com disfagia. No armazenamento, do que tenho conhecimento é que ele não existe, quando o utente não a comida vai para o lixo e isto deve-se também à segurança alimentar.

- vi. É uma pergunta difícil e acho que esse sistema não seria algo muito prático, é genial, mas pouco prático. Sinto que se o sistema fosse gratuito, ou seja, não fossemos falar da brutalidade de preço de um equipamento do estilo a resposta seria sim, sem qualquer dúvida, no entanto, se este tivesse de ser pago à parte de tudo aquilo que uma instituição tem de gerir a resposta seria não, pois existem soluções mais baratas. As principais vantagens é conseguirmos controlar o interior do alimento e conseguir controlar textura e quantidade do alimento.

Com o entrevistado c) mostra que a nutrição do utente e a adição de produtos além dos alimentos vai mais além daquilo que é esperado, sendo que muitas vezes é realizado e pode não ser aquilo que é mais apropriado para aquele determinado utente em específico, assim sendo, a nutrição do utente deve ser analisada para cada tipo de utente, é algo que é diferente e personalizado para cada um, no entanto, o mais usual é recorrer aquilo que se torna mais fácil e rápido o que poderá não ser adequado para certos casos. O entrevistado mostra também que o processo da alimentação vai além do aspeto apenas visual, mostrando que o olfato é uma parte muito importante pois este aspeto tem importância para o apetite do utente. O alimento deve então tentar assegurar as suas propriedades nutricionais necessárias a cada casa e também ter o aspeto e cheiro semelhante ao alimento real pois desta forma conseguimos proporcionar uma experiência alimentar dita “normal” ao utente e evitar as recusas de alimentos.

Entrevistado d)

- i. Primeiro o utente deve ser avaliado e dependendo do tipo de dificuldades que o utente apresenta devemos adequar quer a consistência quer a própria textura. Depende muito das dificuldades apresentadas pelo doente, caso o utente tenha disfagia para líquidos aí há necessidade de espessar o líquido dependendo também das dificuldades do mesmo. Caso seja disfagia de sólidos, converte-se os alimentos a algo mais pastoso, mais ou menos, dependendo do nível de disfagia.
- ii. Pode haver essa necessidade, no entanto não concordo quando adicionamos medicação aos alimentos pois acaba por adulterar o sabor dos alimentos e isso pode tornar-se uma barreira para a alimentação do utente, mas por vezes há essa necessidade pois pode tornar-se difícil dar a medicação a um utente. Muitas vezes recusam a medicação e assim seria mais fácil colocar na alimentação para camuflar os medicamentos e não existir esta recusa. Relativamente aos suplementos, estes já se encontram no mercado com diferentes consistências, mais líquidos ou não e pode se posteriormente serem adicionados dependendo da dieta e da direção do nutricionista.
- iii. Acho que devia existir essa uniformização, na saúde temos a retrospectiva que vimos de um modelo extremamente médico, onde o foco é nos sintomas e na necessidade de resolver estes sintomas e cada vez mais as novas correntes de pensamento levam-nos a pensar na pessoa como um todo e os contextos onde a mesma circula. Como tal, esta união é um facilitador quando pensamos desta forma por tanto faria todo o sentido existir esta união.
- iv. A mais aproximada possível à realidade, a forma, a cor, o cheiro, todos esses fatores são de extrema importância no momento da alimentação.
- v. Do que tenha visto, a sopa é algo que é possível conservar dois ou três dias, no entanto se for um puré de fruta esta irá oxidar. O que acontece normalmente é que a base da sopa, quase de certeza é guardado para posteriormente ser usado. Mas, geralmente, a comida é preparada todos os dias e, possivelmente, alimentos como a fruta são preparados a cada refeição. Muitas vezes produtos como arroz e massa são armazenados durante um dia também para conseguirmos variar o tipo de comida que é dado cada dia. Por tanto no fundo é feito todos os dias e preparado todos os dias e armazenado diria um dia para o outro, não mais tempo do que isso.

- vi. Porque não? Claro que usava, nunca se nega uma ciência que desconhecemos, deveríamos experimentar, pois, tem todas as características de ser um facilitador, se na prática irá funcionar não sabemos ainda, mas cada vez mais têm saído mais estudos sobre isso que demonstram que é bem possível.

Com o entrevistado d) percebemos que a adição de produtos aos alimentos é útil, no entanto pode adulterar aquilo que consideramos propriedades essenciais do alimento, ou seja, o sabor e o cheiro, logo é necessário que a adição de suplementos aos alimentos não altere o seu sabor e o seu cheiro para que a experiência de alimentação do utente possa ser o mais aproximado ao dito normal e este não recuse a alimentação. O entrevistado mostra também que a uniformização desta união era algo que devia de existir, pois a análise que é realizada é uma análise maioritariamente médica, onde se procura apenas identificar e corrigir os problemas do utente, assim, devemos realizar uma visão mais holística do utente, onde se realiza uma análise global do utente e não apenas os seus sintomas e doenças, fazendo com que o processo de alimentação natural também ajude o utente não só a nível de prevenção e tratamento dos seus sintomas mas também como aumento da sua qualidade de vida.

Entrevistado e)

- i. Geralmente os alimentos são com alguma consistência, não pode ser líquido pois a probabilidade de engasgamento do utente aumenta, na maioria das vezes eu diria que seria pastoso, por volta do puré e da sopa. No local onde trabalho os utentes são sempre alimentados por uma coisa que denominamos de passado, que no fundo é uma sopa.
- ii. São necessários diversos suplementos, desde vitaminas, proteínas, e por vezes, medicação quando esta não é possível ser deglutida e estes são sempre triturados e adicionados ao passado.
- iii. Esta união era uma maravilha principalmente porque dessa forma era possível modificar as dietas dos utentes com mais facilidade.

- iv. A forma seria o mais parecido com o alimento real, muitos dos utentes estão lúcidos e recusam a comida pelo seu aspeto, principalmente quando a sua alimentação é sopa todos os dias.
- v. Na instituição onde trabalho os alimentos são preparados sempre na hora e no dia, é triturado e juntado ao passado, ou seja, quando é adicionado proteínas como carne e peixe são cozinhados na hora e posteriormente triturados e juntados ao passado.
- vi. No seu trabalho utiliza regularmente os avanços e tecnologias mais recentes, sendo uma instituição bastante desenvolvida e dessa forma usaria com certeza.

Através do entrevistado e) retiramos que os utentes são alimentados sempre com alimentos com a mesma consistência independentemente do tipo de alimentos que se encontram no mesmo, logo é necessário que os alimentos tenham formas e aspetos diferentes, mas parecidos com o alimento real para proporcionar uma sensação de variedade aos utentes e para que não ocorram recusas da alimentação.

7. Possíveis Caminhos e Blocos Funcionais do Artefacto

Através das entrevistas realizadas há um ponto fulcral que é necessário retirar sobre a matéria-prima utilizada que é: esta é preparada na hora e raramente é armazenada, isto deve-se ao facto de se estar a tratar de alimentos e da preservação das suas condições para o seu consumo estarem conformes e não fujam às normas da segurança alimentar. Assim, é necessário ter em consideração de que os alimentos devem ser pré-preparados a nível da sua consistência antes de seguirem para o passo seguinte, que será a sua utilização no artefacto, passando por um pré-processamento como cozer, picar, moer, esmagar, triturar, etc. Apesar de existir a possibilidade de armazenar os alimentos (materiais) que serão utilizados para cada impressão, é necessário ter em atenção que este armazenamento deve ser realizado dentro das normas daquilo que é considerado uma segurança alimentar. O fator de o material ser alimentos é importante ter em conta, uma vez que, este tipo de material é facilmente danificado, prejudicado e alterado com o passar do tempo, perdendo, assim, as suas propriedades importantes para a realização de uma alimentação adequada e correta para os utentes de saúde.

Como ponto principal e em unanimidade em todas as entrevistas foca-se a importância da forma que o produto final deve ter, mostrando que a sua forma e também cor devem-se comparar ao alimento real que queremos produzir, ou seja, a refeição que supostamente seria dada ao utente (neste caso impressa) teria de ser a mais parecida ao que seria uma refeição nas suas condições normais, tentando ao máximo a sua parecença na forma e na cor também. Este é um fator importante pois torna os alimentos apelativos, ocorrendo, desta forma, menos recusas de alimentação por parte dos utentes. Este alimento deve ao máximo conseguir cumprir os requisitos daquilo que é um alimento dito normal, no fundo deve-se tentar tornar a experiência alimentar do utente o mais normalizada possível, isto implica a autonomia do utente a alimentar-se, seja com a utilização das mãos ou não, a consistência do alimento estar correta consoante o tipo de disfagia que um utente apresenta, adaptando-a a cada caso, cheiro, sabor, forma e cor parecida ao máximo com o alimento que está a ser representado.

Este alimento deve ter uma consistência que é alterada consoante o tipo de disfagia do utente, isto é, poderá ser alterada e aproximada a textura real consoante o nível de

disfagia do mesmo, onde poderá então ser adaptado na textura para conseguirmos atingir o valor desejado, existe uma terminologia para descrever texturas e espessuras de comida e líquidos realizada pelo *The International Dysphagia diet Standardisation Initiative* (IDDSI), de forma a definir o tipo de textura a nível de valores e conseguir adaptar o alimento impresso a esse mesmo valor, ou seja, o interior do alimento ser adaptado para a necessidade do utente.



Figura 5 – Terminologia comum para descrever texturas de comidas e espessura de líquidos (Steele et al. 2018)

A adição de suplementos é um ponto importante quando pensamos no bem-estar seja ele pessoal ou a nível de saúde do utente, para que este fator ocorra devemos ter em consideração que a nutrição do utente deve ser bem realizada para que este tenha uma vida saudável e que os seus requisitos nutricionais sejam cumpridos. Este fator é uma característica que é diferente de pessoa para pessoa, mostrando que existe uma necessidade de alteração frequente do valor nutricional do alimento, como tal, este necessita de conseguir ser modificado a nível nutricional, mas que não perca as características anteriormente mencionadas.

Conseguimos então perceber que a junção dos alimentos com a adição de suplementos (caso necessário) ao produto final torna-se um fator crucial para a alimentação do utente para cumprir as suas necessidades nutricionais e manter uma vida saudável física e psicologicamente.

É importante então perceber como será o produto final, as suas características, como deve ser preparado e armazenado. O produto final, ou seja, o alimento impresso deve primeiramente ser preparado para seguir para a máquina, uma vez que para um material conseguir ser impresso através de 3DFP deve cumprir certos requisitos a nível da sua viscosidade no momento que este é extraído do bico de impressão. O alimento deve conter uma consistência possível a sua impressão, que por norma, irá estar entre os níveis 2 a 5 segunda a terminologia do IDDSI.

Este alimento tem de conseguir cumprir os valores nutricionais do utente que irá digerir o mesmo, logo, o produto deve conseguir ter um controlo nutricional e este deve poder ser customizado e alterado com facilidade e frequência e além disso, conseguir com que a medicação seja também adicionada ao produto final, seja ela durante a impressão ou nos processos de preparação da matéria-prima, este fator é adequado consoante a dieta e medicação de cada utente, Nas figuras seguintes percebe-se um exemplo esquemático onde a zona assinalada a castanho seria um produto, por exemplo carne, e a zona assinalada a verde ser os suplementos e medicação adicionados no interior do alimento.



Figura 6 - Exemplo de um possível alimento para 3DFP (autoria própria com auxílio do software Cura)

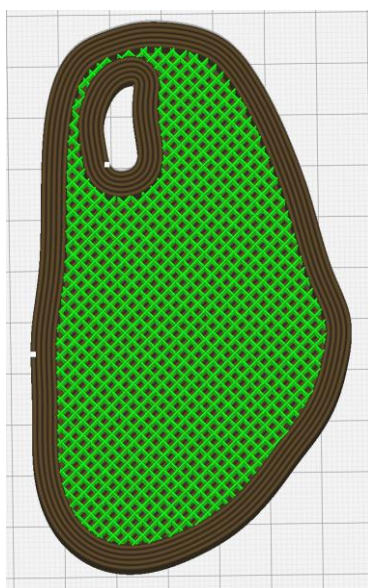


Figura 7 - Exemplo esquemático de um alimento com o interior modificado (autoria própria com auxílio do software Cura)

O alimento deve conseguir manter a sua forma, cor e cheiro quando comparado ao produto real, cumprir estes fatores ao máximo é importante pois desta forma o utente irá ganhar apetite, através do cheiro, do aspeto e da cor não recusando assim a comida.

A consistência do alimento é um ponto de elevada importância pois é este que irá facilitar e permitir que o utente consiga realizar a sua alimentação em segurança, considera-se uma alimentação em segurança quando a ingestão oral é realizada segura, eficiente e confortavelmente. Para isso, é necessário que a consistência do alimento seja adequada ao tipo e grau de disfagia de cada caso, este tipo de consistência é um fator importante que deve existir no produto final impresso pela máquina, esta alteração da consistência do alimento pode ser alterada em duas alturas, pode ser realizada no pré-processamento e preparação do alimento para a impressão ou com a alteração do *infill* do produto final, seja desde a percentagem de *infill* ou da alteração do seu padrão, (figura 9). A mudança na percentagem de *infill* do produto pode não só alterar a sua consistência, mas também a quantidade de produto que este tem, ou seja, a quantidade que o utente irá ingerir, desta forma conseguimos controlar ao máximo e chegar ao nível ideal de alimentação necessária do utente para aquele tipo de alimento, seja ele proteína, vitamina, etc. com o mesmo tipo de padrão é possível aumentar a percentagem de *infill* do produto (figura 10).



Figura 8 - Exemplo de diferentes tipos de padrões para o infill do objeto com a mesma percentagem (Com o auxílio do software Cura, autoria própria)

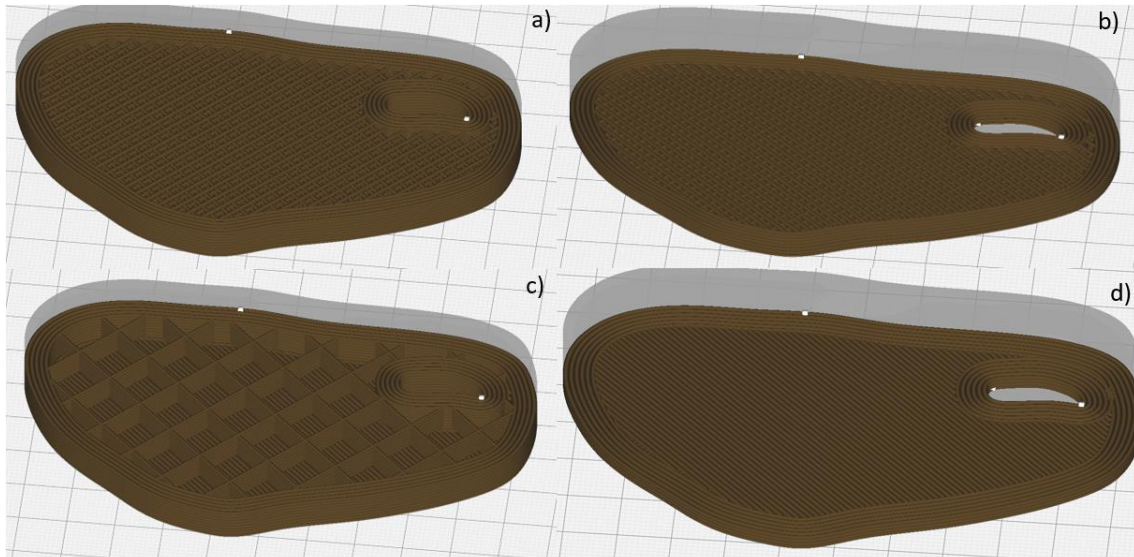


Figura 9 - Diferentes percentagens de infill: a) 35%; b) 50%; c) 20%; d) 100% (com auxílio do software Cura, autoria própria)

Os principais pontos que o objeto final deve cumprir são:

- Consistência modificada, mas que consiga manter a sua estrutura, para que a sua ingestão seja facilitada aos utentes com disfagia dependendo do seu grau de disfagia e tipo;
- Controlo nutricional, ou seja, o produto deve corresponder às necessidades nutricionais do utente seja a nível da quantidade de alimento seja a nível de adição de outros produtos e customização dos mesmos;
- Forma, cor e cheiro semelhante ao alimento real;
- Caso necessário, pré-preparação antes da impressão na máquina, seja esta preparação a nível de adição de suplementos ou de modificações de consistência.

Assim sendo, o artefacto conceptualizado deve conseguir cumprir estes objetivos e realizar o objeto final com as características anteriormente mencionadas. Este artefacto deve ter características físicas e mecânicas adaptadas e funcionais para que se consiga cumprir a 100% os objetivos requeridos, que neste caso, seriam a realizam de um objeto com características específicas e customizadas para cada utente de saúde, ou seja, alimentos personalizados e adequados a cada caso. Existe então a necessidade de procurar soluções e procurar blocos funcionais de forma a conseguirmos cumprir estes objetivos.

5.1. Conceptualização do sistema de fabrico aditivo para alimentos fabricados por via aditiva

Quando pensamos então na conceptualização do artefacto, principalmente com a filosofia de DSR, é necessário criar um conceito de um sistema digital de um artefacto para que se consiga cumprir os objetivos. Dentro da filosofia de DSR é importante que estes objetivos estejam bem definidos pois é a partir deste que as características do artefacto irão ficar definidas. Assim sendo, o artefacto deve conseguir realizar a impressão 3D de alimentos com a possibilidade de customização dos mesmos a nível de forma, consistência, entre outros. Desta forma, existe então a necessidade de o artefacto consistir em características semelhantes à de um sistema de fabrico aditivo para conseguir ter a liberdade geométrica a nível de forma, de customização e controlo da consistência.

Assim, irá ser realizada a conceptualização do artefacto a nível artificial, ou seja, irá ser encontrada uma solução tecnológica, mas apenas a nível conceitual, com a criação de uma solução digital, onde o artefacto é apenas a nível teórico.

Como mencionado na definição da metodologia da DSR, o artefacto irá cumprir um objetivo e principalmente resolver um problema, neste caso, o problema será conseguir corresponder as dietas customizadas e ainda permitir a alimentação cem por cento segura de utentes com disfagias e problemas de deglutição.

O artefacto será então conceptualizado e definido através de blocos funcionais, onde a sua separação será: Sistema dinâmico, cabeçal aditivo e mesa de adição.

Existe então a necessidade principal de definir bem estes blocos funcionais para que o artefacto esteja bem definido e possa posteriormente ser avaliada no espaço ambiente para o qual este foi conceptualizado e conseguir perceber a sua viabilidade de construção e utilização.

Bloco funcional: Sistema dinâmico

O sistema dinâmico do artefacto é o sistema responsável pela movimentação nas três dimensões X, Y e Z, bem como a realização das operações necessárias para impressão do objeto final. Este é um dos blocos funcionais mais crucial para o funcionamento correto da máquina e deve estar bem definido para que a impressão do objeto consiga ser realizada sem problemas e com as especificações desejadas.

Existem no mercado de momento inúmeras configurações possíveis para um sistema dinâmico de um artefacto, este sistema dinâmico é composto por múltiplos eixos, que irão variar consoante o tipo de configuração que é utilizada, onde temos quatro tipos de configurações possíveis (figura 11):

1. Configuração Cartesiana (a)
2. Configuração Delta (b)
3. Configuração Polar (c)
4. Configuração Scara (d)

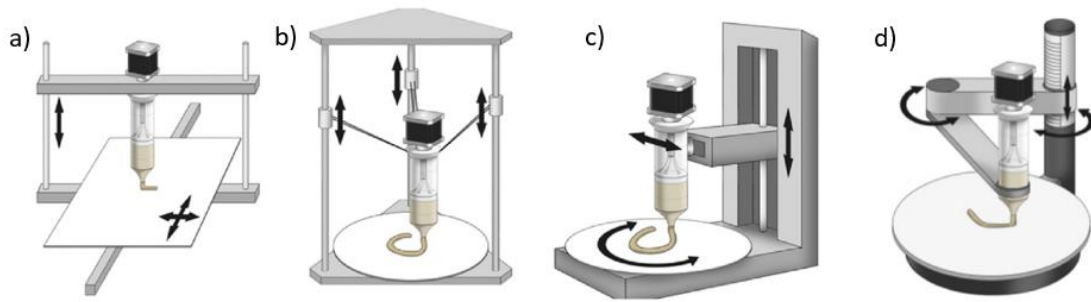


Figura 10 - Configurações de sistema dinâmico (Sun et al. 2018)

Quando pensamos numa configuração cartesiana (figura 11, a) é necessário pensarmos num eixo cartesiano (figura 12), este eixo permite através de coordenadas X, Y e Z definir um ponto no espaço, desta forma conseguimos permitir ao cabeçal aditivo o seu movimento dentro do espaço e conseguir definir a sua posição na totalidade, conseguindo um posicionamento preciso em tempo real. Utilizando o eixo X para movimentação de esquerda para a direita, eixo Y para movimentação frente e trás e Z para movimentação em altura, este tipo de artefacto pode utilizar uma mesa de adição estática para a movimentação no eixo Z e o cabeçal aditivo fazendo a movimentação no eixo X e Y ou um cabeçal aditivo movendo-se nos eixos X-Z e a mesa de adição no eixo Y (Ahmed et al. 2020; Sun et al. 2018).

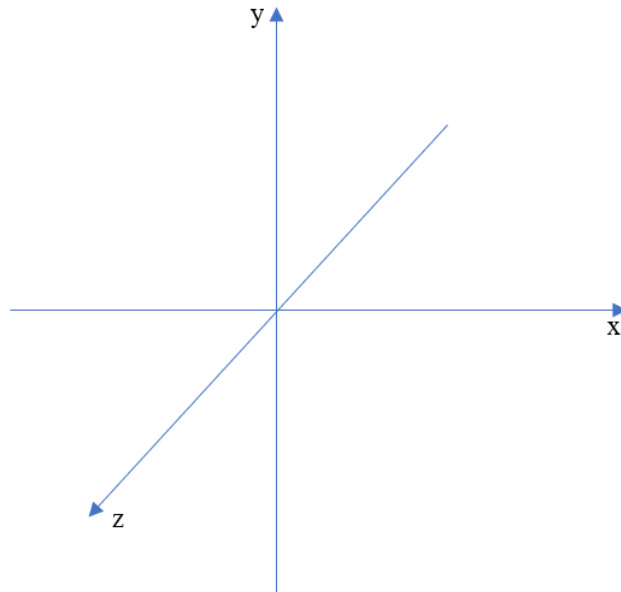


Figura 11 - Eixo Cartesiano (Própria autoria)

Este tipo de configuração é o mais utilizado, pois torna-se fácil de construir, calibrar e de fácil manutenção, temos exemplos como Ender 3, Foodini, BeeHex, entre outros, que utilizam este tipo de configuração de sistema dinâmico. Oferece inúmeras vantagens, sendo que uma das principais é conseguir abranger inúmeros casos de sistemas de FA que suportam e utilizam esta configuração, sendo que este sistema é suportado por componentes que são fáceis de encontrar, substituir e reparar, devido à sua vasta presença no mercado. É uma configuração que fornece acabamentos bons e com poucos erros devido aos seus eixos cartesianos mais rígidos quando comparado com outras configurações. No entanto, é uma configuração que necessita de muito espaço e como tal, pouco prático a nível de consumidor final, além disso, o facto de o cabeçal aditivo estar carregado com o material necessário à impressão, torna este bloco muito pesado comprometendo a velocidade de impressão de um produto podendo danificar o alimento 3D produzido aditivamente, por isso este tipo de configuração tem um tipo de impresso muito lento, que quando aplicado a este setor da alimentação e cuidados de saúde poderá ser um limite a nível comercial (Ahmed et al. 2020; Sun et al. 2018).

A configuração Delta (figura 11, b) é baseada no princípio funcional do robot Delta, que no fundo é um robot que utiliza três braços separados igualmente a nível angular uns

dos outros, que estão conectados a uma zona fixa que coordena o movimento de cada braço para mover a ponta, neste caso o cabeçal aditivo, pelo espaço, cada braço contém um movimento independente ascendente ou descendente (figura 13), temos exemplos como Anycubic, Flsun Q5, Pinya3, entre outros. Este tipo de configuração é uma alternativa ao sistema cartesiano, calculando a posição exata do cabeçal aditivo através de funções trigonométricas. O cabeçal aditivo encontra-se suspenso no ar e é movido através destes três braços configurados triangularmente alternando os ângulos para a movimentação do cabeçal, onde estes movimentam-se todos ao mesmo tempo para atingir uma posição, logo, este tipo de movimentação no espaço necessita de tipos de programação diferentes quando comparado a sistema cartesiano, considerado o mais comum. A configuração delta quando comparada à cartesiana é uma configuração mais flexível, com maior espaço de trabalho, mais rápida pois necessita de movimentos menores para impressão do mesmo objeto, no entanto é menos precisa. Geralmente, a mesa de adição é redonda o que torna o espaço de impressão mais eficiente, principalmente em impressões redondas (Ahmed et al. 2020; Anon n.d.; Sun et al. 2018).

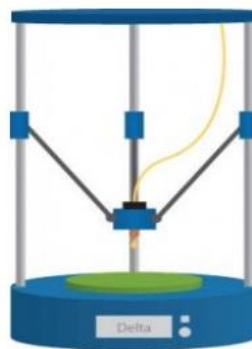


Figura 12 - Diagrama de configuração Delta (Ahmed et al. 2020)

A configuração polar (figura 11, c) diferente da cartesiana, utiliza coordenadas polares para descrever pontos no espaço, isto é, utiliza uma mesa de adição rotativa designada por eixo teta (ângulo) e um braço horizontal designado por eixo R (raio) e para movimentação em altura utiliza um eixo vertical Z (figura 14), cada ponto no espaço é calculado então, sabendo o angulo teta, a posição vertical e um valor do raio medido pelo um eixo, temos exemplos como XOCO 3d-printer, Sculpto 3D printer, entre outros. Esta configuração consegue atingir círculos perfeitos e uma performance igual em qualquer direção de movimento, com erros mecânicos mínimos e calibração baixa. Este tipo de

configuração foi criada de forma a se tornar mais simples quando comparada às configurações anteriores, assim sendo torna-se uma configuração com mecanismos mais simples e com possibilidade de serem mais leves, tornando-se uma configuração mais barata, sem perder qualidade a nível da impressão (Darshini and Suchitra 2020; Sun et al. 2018; Yoshikawa and Branco 2015).

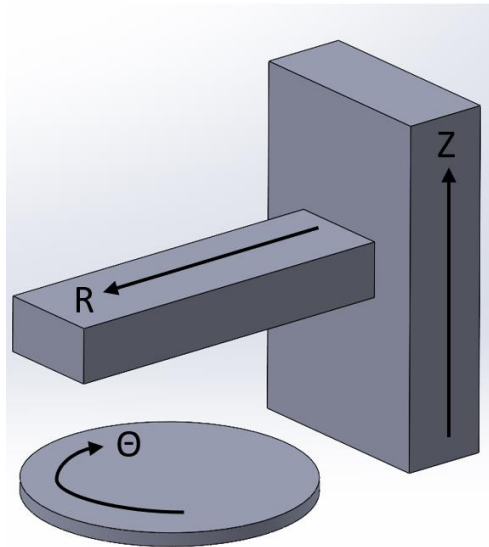


Figura 13 – Esquema de configuração polar (Autoria Própria com auxílio SolidWorks)

A configuração Scara vem do nome *Selective Compliant Assembly Robot Arm* (SCARA), este tipo de mecanismo é utilizado em muitas áreas industriais, utiliza 2 graus de liberdade para a movimentação do braço robótico num plano cartesiano X-Y e um eixo Z para a sua movimentação em altura. A determinação do ponto no espaço é utilizado através do cálculo do ponto na extremidade do braço, através do ângulo que os mesmos fazem e do seu comprimento (figura 15), e da altura a que se encontra no eixo Z (Çakan et al. n.d.; He et al. 2019; Koo et al. 2019).

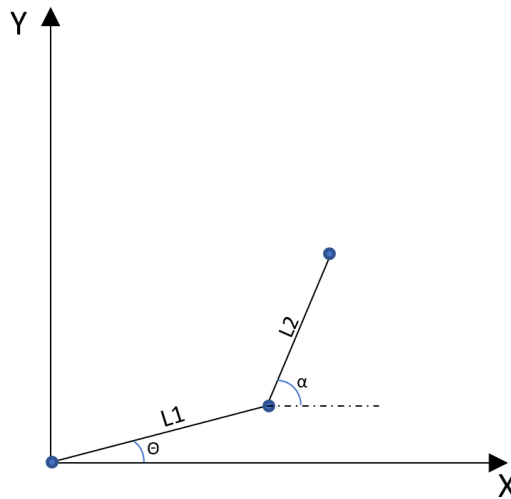


Figura 14 - Exemplo de uma posição possível do braço da configuração Scara (autoria própria)

Esta configuração é fácil de construir e tem sido cada vez mais utilizada e aplicada à indústria do FA (Sun et al. 2018).

Quando pensamos na escolha da configuração para o bloco funcional em estudo, há alguns fatores que devemos ter em consideração como o tempo de fabricação do modelo digital, o preço da máquina, custo e tempo de manutenção, limpeza da mesma e ainda o espaço que esta irá ocupar (Sun et al. 2018). Como tal, é importante pensarmos que na área da alimentação em estudo não existe a necessidade de precisão rigorosa da máquina tendo assim a possibilidade de escolha de configurações mais baratas e simples a nível de custo e manutenção.

Este bloco funcional irá então utilizar uma tecnologia de FDM que consiste numa cama de impressão (geralmente aquecida) que na sua normalidade utilizaria polímeros e os extrudaria através do cabeçal aditivo para a mesa de adição (Zakaria, Mativenga, and Cseke 2022), no entanto, neste caso a tecnologia manter-se-á FDM mas o material serão os alimentos.

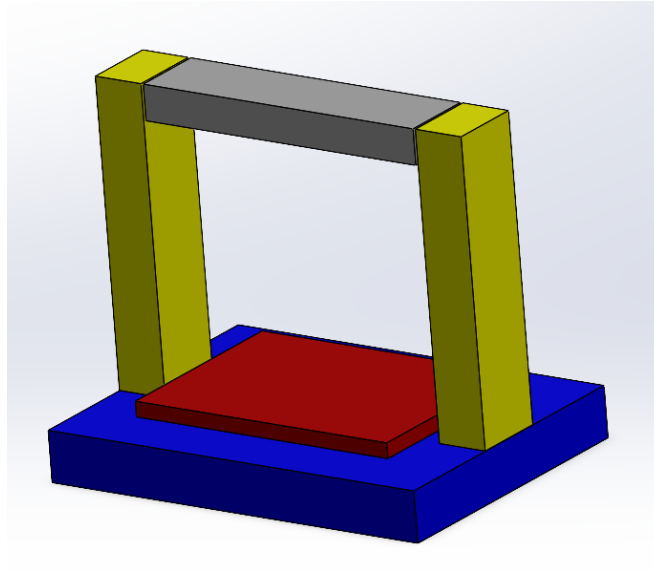


Figura 15 - Esquema do sistema dinâmico (autoria própria através de SolidWorks)

A máquina utiliza então, para a construção do objeto, uma configuração cartesiana, pois é o mais comum, podendo facilitar a sua obtenção e criação do sistema funcional dinâmico, assim sendo os três eixos cartesianos X, Y e Z estão representados através do esquema acima. Onde se pode verificar que a zona assinalada a vermelho é a zona responsável pela movimentação no eixo Y, podemos então verificar que a mesa de adição irá então realizar um movimento, da zona traseira do artefacto para a frente do mesmo. Como mencionado anteriormente, quando existe a movimentação da mesa de adição no eixo Y, verifica-se então a responsabilidade do cabeçal aditivo para a movimentação nos eixos X e Z, onde através do esquema anterior é verificado o seu movimento na zona assinalada a cinza e na zona assinalada a amarelo, respetivamente.

O sistema dinâmico é então responsável pela movimentação no espaço, mas também pela quantidade de material e que tipo de material irá ser utilizado, em que zona é colocado, qual estrutura interna do objeto, entre outros. Assim sendo, o sistema dinâmico irá receber um objeto em formato “.gcode”. Este tipo de objeto é obtido através de softwares de fatiamento para obter o objeto pretendido, este “.gcode” fornece várias informações como:

- Movimentação no espaço
- Dimensões e forma do objeto
- Tipo de material a utilizar para cada área, caso o cabeçal aditivo seja multimaterial bem como a peça (figura 17)
- Velocidade de extrusão
- Preenchimento do objeto, controlando assim o interior e quantidade de material no mesmo
- Temperaturas
- Velocidade de impressão

No fundo o sistema dinâmico irá ter um *input* que irá ser o ficheiro em formato “.gcode” com toda a informação necessária para a realização total da impressão e terá então um *output* que irá ser as operações para a realização da impressão como movimentação, extrusão do material, etc. (figura 18).

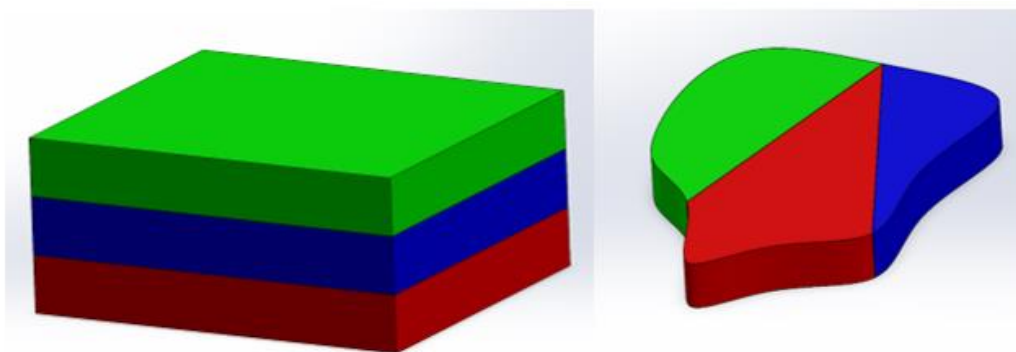


Figura 16 – Exemplo de um objeto multimaterial sendo cada cor um tipo de material diferente (Autoria própria através de SolidWorks)

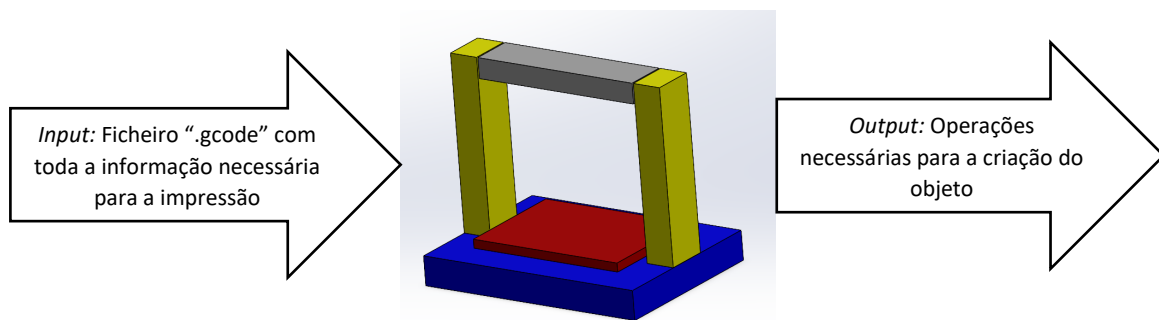


Figura 17 – Exemplo esquemático do bloco funcional: sistema dinâmico (autoria própria)

Todos os parâmetros do objeto podem então ser alterados consoante as necessidades do utente, sejam elas nutricionais ou a nível da textura do alimento, como tal, é necessário um software para o controlo destas características. Este software necessita da possibilidade de conseguir assegurar e simular as características do objeto e do material que irá ser utilizado, logo, precisa de uma lista de materiais bem definida para que o auxílio da impressão do modelo seja facilitado e seja de fácil uso para o utilizador, ou seja, é um software *user friendly*. Este tipo de pensamento é importante porque os utilizadores desta máquina irão ser utilizadores pouco comuns quando pensamos neste tipo de artefacto, desde enfermeiros, auxiliares de saúde, cozinheiros, terapeutas da fala, entre outros. Devemos então facilitar esta customização do produto final, tendo um software com poucas opções de alteração do produto final, mas que sejam as necessárias, isto é, uma interface com as seguintes opções:

- Quantidade de material 1
- Quantidade de material 2 (quando necessário)
- Quantidade de material 3 (quando necessário)
- Tipo de consistência por níveis – 1,2,3 e 4 onde é adaptado a consistência e textura do alimento consoante os valores normalizados pelo IDDSI, que no fundo iria alterar o interior do alimento para o nível desejado

Como tal, é importante que a sua compreensão seja facilitada e fornecida ao máximo e com o menor esforço possível, desta forma permitidos o foco noutra tipo de atividades necessárias em instituições como lares, hospitais, serviços de urgência, etc., onde o foco em várias atividades em simultâneo é uma necessidade.

Deverá então, existir modelos predefinidos de cada alimento para que a impressão do alimento não necessite da modelação do mesmo, ou seja, existir modelos como cenoura, batata, arroz, carne, peixe, etc., para que o modelo 3D esteja definido e não exista a necessidade de modelação dos mesmos, desta forma permitimos uma utilização mais rápida da máquina, onde apenas se deve alterar os parâmetros necessários para cada impressão e definir a refeição do utente a nível nutricional.

É possível realizar um de algo que poderia ser impresso neste tipo de máquina, onde se pode verificar a existência de pelo menos (figura 19), 2 tipos de material, neste caso, cenoura e carne, onde no software é possível a definição de cada tipo de material para cada objeto e ainda conseguir ter um terceiro material caso necessário para o interior do objeto ou outro produto ao mesmo tempo.

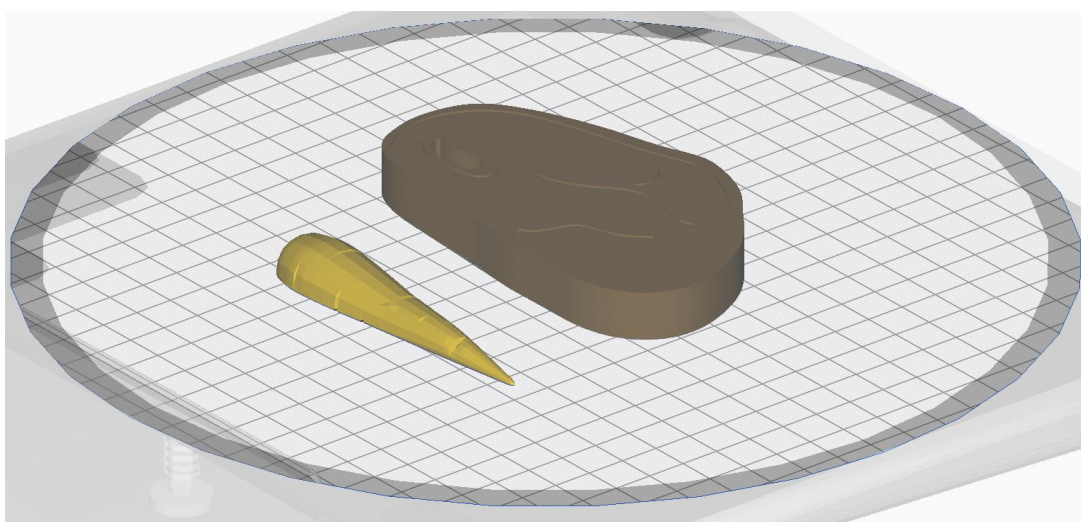


Figura 18 – Exemplo de um possível modelo de impressão de uma refeição (autoria própria com auxílio de software Cura)

Todas as informações dadas ao sistema são realizadas através do ficheiro em formato “.gcode” algumas destas informações devem estar já predefinidas consoante o tipo de modelo selecionado, desde a temperatura da mesa de adição, quantidade de material que irá ser extrudido ao longo da impressão. Certos fatores são automáticos e pré-definidos a

nível de funcionamento da máquina, fatores como velocidade de impressão, velocidade de movimentação. No fundo, apenas o estritamente necessário para a customização do produto para as necessidades do utente são as componentes possíveis de modificação.

Este bloco funcional irá desempenhar a função mais importante, pois é nele onde estão todas as operações necessárias para uma impressão correta e com as características específicas desejadas. É um bloco que deve estar bem definido e a construção da máquina deve estar também bem definida, pois esta irá reter a informação e mandá-la para o resto da máquina e conduzir os outros blocos funcionais.

Bloco funcional: cabeçal aditivo

O cabeçal aditivo é responsável pelo armazenamento da matéria-prima e pela sua extrusão para a mesa de adição, no fundo é o responsável pela deposição do material ao longo da impressão. Este bloco funcional é a parte do sistema de FA que irá extrudir o material em estado semissólido ou líquido em camadas sucessivas para formar o objeto 3D final.

Este bloco funcional tem a possibilidade de utilizar alguns sistemas diferentes para a realização da função a que está proposto, que neste caso será extrusão do alimento e a armazenamento para a utilização na impressão. Este mecanismo pode ser classificado em 4 tipos:

1. Extrusão parafuso
2. Extrusão seringa
3. Extrusão por pressão de ar
4. Extrusão por roda dentada

Para que a impressão seja realizada com sucesso o tipo de mecanismo deve conseguir manter uma extrusão de material constante e estável para que a criação do objeto e o objeto em si, não sejam danificados durante o processo.

Na Extrusão parafuso é utilizado um parafuso no interior do cabeçal aditivo que roda continuamente através de um motor, transportando e misturando o material até à ponta do cabeçal aditivo para que o material possa ser extrudido e colocado na mesa de adição camada a camada (figura 20). Durante a extrusão, o material pode ser continuamente alimentado ao cabeçal não havendo necessidade de paragem do processo de impressão sendo uma das principais vantagens deste tipo de mecanismo (Guo et al. 2019; Liu et al. 2017; Shi et al. 2022).

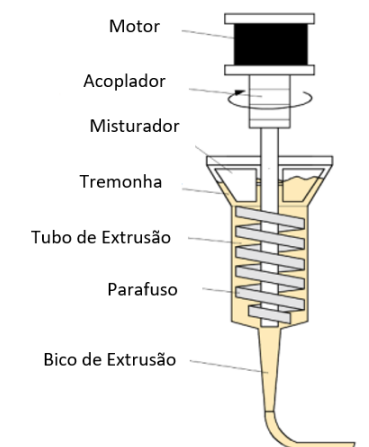


Figura 19 – Extrusão com parafuso, exemplo esquemático (adaptado de Guo et al. 2019)

Este tipo de extrusão demonstra algumas desvantagens quando são utilizados materiais com elevada viscosidade e elevada resistência mecânica, fazendo com que se torne difícil a obtenção de objetos finais precisos, logo, deve-se utilizar materiais semissólidos com baixa viscosidade e resistência mecânica (Guo et al. 2019; Liu et al. 2021).

Com o auxílio de seringa (figura 21), a extrusão é realizada com o auxílio de um êmbolo (*Plunger*) que se encontra no interior da seringa, comandado por um motor que, através de um movimento linear, empurra o material para a ponta do cabeçal. A velocidade de extrusão é facilmente alterada modificando a velocidade do motor. Este tipo de mecanismo quando aplicado à impressão 3D, pode ser dividido em dois sectores, *Bioprinter* e extrusoras de pastas e barro (Guo et al. 2019; Pusch, Hinton, and Feinberg 2018; Shi et al. 2022).

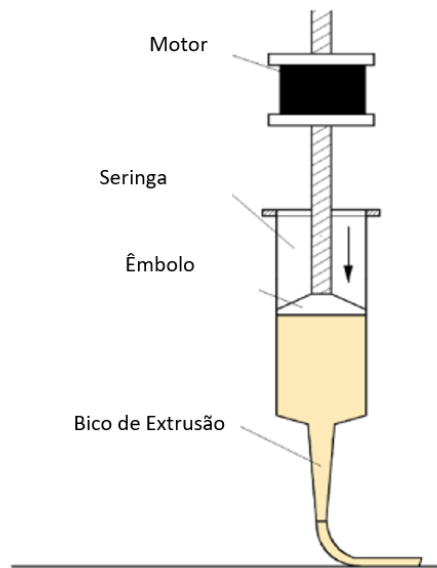


Figura 20 - Extrusão com auxílio de seringa, exemplo esquemático (adaptado de Guo et al. 2019)

Neste caso, apenas é importante pensar na extrusora de pastas, uma vez que, o tipo de material a ser utilizado, irá estar dentro deste parâmetro. Este tipo de mecanismo é maioritariamente utilizado para grandes quantidades de material com reservatórios de grandes dimensões e de diâmetros de bico elevados (até 4 mm), estes tipos de materiais devem ter boa viscosidade e consistência para a sua utilização neste tipo de mecanismo, quando a viscosidade do material é elevada a força necessária, no motor, para a sua extrusão é maior, no entanto, é um método de fácil utilização quando aplicado à indústria alimentar. A material glacê (uma calda de açúcar usada em bolos), terá a consistência perfeita para a utilização em extrusão à base de seringa. No entanto, este mecanismo, geralmente utiliza velocidades de impressão muito lentas e com a necessidade de produzir objetos de geometrias simples, além disso, este tipo de mecanismo tem algumas dificuldade a nível da contração, que no fundo é a habilidade de parar a impressão de material e extrudir no sentido oposto antes da movimentação para a camada seguinte, isto permite que não existam deposições de materiais na alteração de camada, não depositando excessos de material (Guo et al. 2019; Pusch et al. 2018; Shi et al. 2022). Temos exemplos como Choc Creator, CocoJet 3D printer, que utilizam este tipo de mecanismo.

Na extrusão por pressão de ar (figura 22) o mecanismo utilizado é muito semelhante ao da extrusão por seringa, no entanto, em vez da utilização de um êmbolo para empurrar o material para a ponta do cabeçal, este utiliza ar comprimido através de uma bomba pneumática. Esta bomba consegue utilizar múltiplos canais com diferentes velocidades de extrusão ao mesmo tempo, regulando as válvulas das quais o ar comprimido passa. Este tipo de mecanismo é utilizado para materiais mais líquidos, enquanto que por seringa serão materiais mais sólidos e semissólidos (Guo et al. 2019; Shi et al. 2022; Sun et al. 2018).

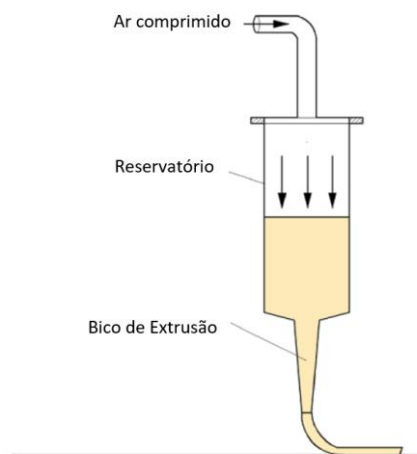


Figura 21 – Extrusão com pressão de ar, exemplo esquemático (adaptado de Guo et al. 2019)

Este tipo de mecanismo, bem como o mecanismo de seringa têm uma enorme vantagem quando aplicamos ao setor alimentar, esta vantagem é o facto de não existir interação direta dos componentes mecânicos com os materiais, reduzindo assim o risco de prejudicar e contaminar os produtos alimentares. No entanto, existe dificuldade em conseguir alimentar as seringas de materiais viscosos sem bolhas de ar, havendo a necessidade de mecanismos adicionais para que se consiga contrariar este fator (Sun et al. 2018). Temos exemplos de máquinas que utilizam este mecanismo a *pasta-making 3D printer* da empresa *Barilla* e também a *BeeHex 3D Printer*.

O mecanismo através de rodas dentadas, é um mecanismo bastante utilizado em outros sistemas de FA que utilizam a forma do material em filamento, como Ender 3, onde o material se encontra no estado sólido à temperatura ambiente e mais viscoso com temperatura elevada, solidificando rapidamente. Este mecanismo utiliza duas rodas dentadas que rodam em sentidos opostos e empurram o material para a ponta do cabeçal controlando a temperatura. No entanto, este tipo de mecanismo aplicado à indústria alimentar ainda é bastante embrionário, uma vez que existe a necessidade de aquecimento do alimento e de arrefecimento rápido (Shi et al. 2022).

O cabeçal aditivo deve então ter a possibilidade de conseguir imprimir diferentes materiais ao mesmo tempo, uma vez que uma refeição dita “normal” deve pelo menos ter 3 tipos diferentes de alimento e/ou diferentes aditivos à alimentação e nutrição do utente. Desta forma, a impressão irá ser através da extrusão utilizando uma extrusão do tipo seringa, este tipo de técnica é utilizado para matéria-prima sólida, semissólida e líquido, como o material utilizado neste caso os alimentos geralmente terão uma textura pastosa, mas principalmente uma textura que pode variar consoante o tipo de alimento e/ou dificuldade de cada utente. Com múltiplos cabeçais aditivos podemos controlar a textura, modificar o interior do alimento, modificar o nível nutricional e também utilizar diferentes materiais simultaneamente. Além disso, este tipo de mecanismo tem uma grande vantagem que é o facto de contaminação dos produtos alimentares, ou seja, os seus componentes mecânicos, como referenciando anteriormente, não têm contacto com o material, não danificando assim os mesmos.

O cabeçal aditivo irá então consistir em três seringas removíveis para que se consiga não só alterar facilmente os alimentos, mas também utilizar múltiplos materiais e conseguir realimentar a seringa com facilidade. Desta forma, conseguimos adaptar a refeição ao utente a que esta é destinada, no fundo permite customizar a refeição direccionada às necessidades nutricionais da pessoa e necessidades a nível da dificuldade em se alimentar, ou seja, podendo alterar também a textura do alimento e até mesmo a quantidade que é alimentada ao utente.

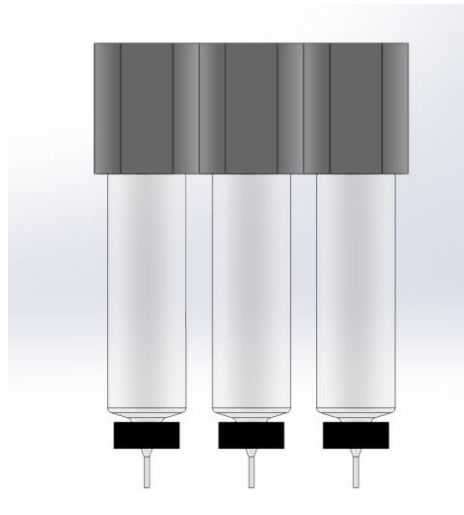


Figura 22 - Cabeçal aditivo esquemático (autoria própria através de SolidWorks)

O cabeçal aditivo irá receber os alimentos (a matéria-prima por imprimir) na consistência necessária para a impressão e com todos os fatores necessários do mesmo, que irão ser diferentes para cada utente, isto quer dizer que o material deve-se encontrar já na consistência propicia para a sua extrusão pelo cabeçal aditivo e irá então criar o produto final (figura 24)

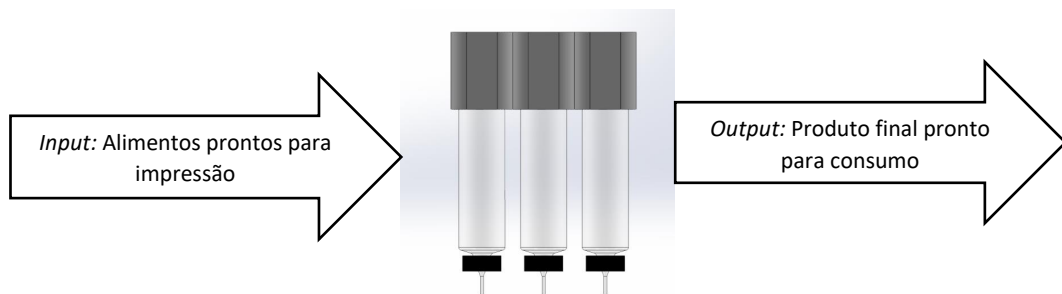


Figura 23 - Exemplo esquemático do bloco funcional: Cabeçal aditivo (autoria própria)

É importante que este bloco funcional esteja bem definido e que consiga uma impressão multimaterial pois uma alimentação adequada e nutricionalmente correta é composta por variedade de alimentos logo existe a necessidade de conseguir controlar texturas e percentagens de alimento para vários tipos de materiais, com uma impressão multimaterial conseguimos assegurar este fator.

Bloco funcional: Mesa de adição

A mesa de adição é a zona onde a cabeçal aditivo irá depositar as camadas de material impresso que irão formar o objeto 3D final.

O principal fator deste bloco funcional é permitir que o objeto impresso se mantenha na plataforma, sem se mover, mantendo a sua estrutura durante toda a impressão, desta forma existe a necessidade de percebermos a força de adesão que o material irá ter na cama à qual será ser colocada. Assim sendo, existem duas formas de assegurar esta adesão à cama quando utilizamos materiais alimentares, que são:

1. Mudança do material ou do tipo de mesa de adição
2. Mudando o material impresso

Uma vez que a mudança de material para a adesão à mesa é algo que não pode ser alterado, uma vez que o material é dependente da alimentação ao qual o utente irá estar sujeito, é necessário verificarmos, as alterações que podem ser realizadas na mesa de adição.

Assim sendo, é importante conseguirmos definir bem o tipo de material a que a cama deve estar sujeita para assegurar a adesão dos alimentos ao mesmo, bem como o tipo apropriado de cama, aquecida ou não, de vidro, plástico, forma da mesma, entre outras características. Estes tipos de artefactos eram inicialmente utilizados para materiais plásticos, onde a precisão da máquina é um fator importante, no caso dos alimentos, apesar de a precisão ser um fator importante para que a fabricação do produto final seja rentável, é um fator não tão necessário quando em comparação com os plásticos. Devido à densidade dos alimentos ser bastante mais elevada quando comparada com os plásticos, a força necessária para a extrusão dos mesmos irá também ser bastante maior o que poderá resultar em forças na mesa de adição, assim sendo temos a possibilidade de utilizar pratos convencionais ou que podem seguir diretamente para pós-processamentos, desta forma conseguimos combater o fator de transporte da mesa de adição para o prato, que poderia posteriormente danificar o objeto final. Deve-se ter em consideração o material do qual a mesa de adição é feita, pois este tipo de material deve cumprir com os fatores importantes e obrigatórios daquilo que é considerado uma segurança alimentar (Sun et al. 2018).

O tipo de mesa de adição irá variar consoante o tipo de escolha de mecanismo dinâmico proposto, neste caso, é necessário conseguirmos adaptar o mecanismo dinâmico a uma mesa de adição removível, isto é, utilizar um prato para que o produto final seja diretamente levado ao utente, desta forma, evita-se contaminação da mesa com outros materiais de impressões anteriores, bem como uma mudança rápida de mesa para realizar a impressão seguinte. Existe, no entanto, a necessidade de adaptar a mesa de adição para uma plataforma que consiga suportar o prato, mas que também o mantenha estável e seguro durante toda a impressão.

Para que este bloco funcional seja capaz de cumprir funções como manter a estrutura do material e as características internas e externas do produto final, as condições deste bloco devem estar propícias a que esta característica não seja alterada, esta deve conseguir estar nivelada durante toda a impressão e conseguir manter este nível ao longo das impressões pelas quais a máquina irá ser sujeita. Como o nivelamento de uma mesa de adição é um processo árduo, trabalhoso e demorado, torna-se de extrema importância que este processo seja facilitado ao máximo. A mesa deve ter um sistema de auto nivelamento fazendo com que se consiga assegurar e manter o nivelamento da máquina e não existir perturbações seguintes ao longo das impressões. Este sistema pode ser conseguido através de sensores de auto nivelamento (*auto-bed Levelling*), que no fundo é um sistema que irá medir em vários pontos da mesa a distância desta ao cabeçal aditivo ajustando a mesa para que essas diferenças nos vários pontos medidos sejam diminuídas ao máximo e o nivelamento da mesa esteja o mais correto possível, com isto permitindo uma impressão correta, de modo a prevenir ao máximo erros na impressão que poderão afetar o produto, que neste caso, será de extrema importância uma vez que estamos a falar de uma área da saúde pública.

8. Validação do Artefacto

Após a conceptualização dos sistemas do artefacto seguindo a metodologia DSR (Peffer et al. 2007) é necessário proceder à validação do mesmo. Desta forma, recorreu-se a entrevistas a profissionais da área da engenharia de forma com vista a perceber se seria possível a construção de um artefacto com estas características. A entrevista foi dividida em várias secções, consoante o sistema funcional, iniciando-se com uma breve explicação de cada sistema funcional, tendo a entrevista um guião com as seguintes perguntas:

Secção 1. Sistema dinâmico

- I. Considera que o sistema dinâmico está bem definido no ponto anterior?
- II. Concorda com os 4 tipos de mecanismos de movimentação deste sistema a nível do seu funcionamento?
- III. Concorda que o input associado ao sistema dinâmico será o ficheiro com as informações necessárias para a impressão? Como movimentação no espaço, dimensões e forma do objeto, etc.

Secção 2. Cabeçal aditivo

- I. Considera o cabeçal aditivo bem definido como mostrada anteriormente?
- II. Concorda com os 4 tipos de cabeçal aditivo possíveis ?
- III. Considera importante utilizar múltiplos bicos para extrusão de diferentes materiais quando aplicado a indústria alimentar?
- IV. Concorda que o *input* neste bloco funcional é o alimento pronto para impressão e como *output* os alimentos prontos para consumo?

Secção 3. Mesa de adição

- I. Concorda com a definição apresentada sobre este bloco funcional?
- II. Considera possível a utilização de um prato como mesa de adição? Para que se evite contacto com o alimento e seja logo levado ao utente.
- III. Acha possível a utilização de *auto-bed levelling* neste tipo de bloco funcional? Utilizando um prato como mesa de adição.

Secção 4. Artefacto

- I. Considera importante utilizar o fabrico aditivo em casos ligados à saúde?
- II. Concorda que a utilização das características do fabrico aditivo pode ajudar idosos com disfagia na sua alimentação? Modificando os alimentos e suas características.

Para a realização da aprovação contactou-se com cinco profissionais na área de engenharia, dos quais três, engenheiros mecânicos, nomeadamente nas áreas de construção mecânica, fabrico aditivo de polímeros e moldes de silicone e, por fim, na área da prototipagem rápida, um engenheiro alimentar com alguns trabalhos na área da saúde e um engenheiro químico. Inicialmente foi realizada uma breve explicação sobre o artefacto a ser conceptualizado com uma explicação de todos os blocos funcionais, bem como do objetivo a cumprir no caso de estudo.

O primeiro passo foi então confirmar a definição dos blocos funcionais, isto é, se a nível de engenharia estes estavam bem definidos e em congruência com a função que supostamente iriam desempenhar. De seguida, mencionou-se os tipos que esse bloco funcional poderia adquirir, terminando com os inputs e outputs do bloco funcional.

Para concluir, foi mencionado a aplicação do fabrico aditivo na indústria alimentar e saúde, de forma a perceber a sua viabilidade e possibilidade.

A nível de definição dos blocos funcionais, mostrou-se unânime a nível da sua definição, havendo concordância na definição de todos os blocos funcionais.

Para a primeira secção, a grande maioria dos entrevistados afirmaram que a configuração *Scara* é excelente para aplicações com movimentos de repetibilidade, o que no presente caso de estudo poderá não se adequar, além disso podem acontecer erros de movimento, pois, nesta configuração são utilizados 2 motores para movimento em XY. A nível de input deste bloco funcional, foi em total concordância.

Na secção seguinte, houve concordância de todos com a especial preocupação da compatibilidade do cabeçal aditivo com o material, neste caso, alimentos, sendo que a principal preocupação seria a de evitar contaminações do alimento, ou até mesmo evitar contactos com outros alimentos para utentes com intolerâncias a lactose ou glúten. À semelhança da secção anterior houve concordância no *input* deste bloco funcional na

maioria dos entrevistados, no entanto, uma das pessoas considerou que o *input* seria os parâmetros de extrusão como temperatura de extrusão, velocidade de extrusão, etc.

Na secção da mesa de adição as respostas tornaram-se positivas de todas as partes com especial atenção à utilização de um prato na mesa de adição, tendo em atenção que sistema utilizar para que se torne seguro e estável, sugerindo sistemas de vácuo.

Para terminar, todos os entrevistados validaram os blocos funcionais e reiteraram a o potencial do sistema na área da saúde alimentar das pessoas com disfagia.

9. Discussão de Resultados

A conceptualização de um artefacto para impressão 3D de alimentos para idosos com disfagia advém do facto de existir a necessidade dos idosos manterem uma alimentação equilibrada e adaptada às suas dificuldades, bem como ao facto de muitas vezes, as suas limitações conduzirem a dependência de outros. Esta conceptualização tem como finalidade mostrar que existe a possibilidade de aplicar o setor de engenharia à área da saúde, auxiliando-a e suprimindo a necessidade e demanda do mercado nesta área, conseguindo, igualmente, melhorar a qualidade de vida daqueles que têm disfagia.

Chegando assim, à pergunta de partida seguinte: Será a tecnologia de fabrico aditivo uma mais-valia na produção de alimentos modificados para idosos?

Examinando as entrevistas realizadas e as respostas dos entrevistados, percebo que claramente existe a necessidade de aplicar esta tecnologia na área da saúde e, principalmente, não só a utentes idosos, pois poderão existir outros utentes, na área da saúde que devido a acidente, doença ou deficiência tenham problemas de deglutição, mostrando-se aqui que o foco poderia não ser apenas idosos com disfagia, mas sim qualquer ser humano. Conseguiu-se, ainda, perceber que até ao presente, a forma como se lida com esta dependência dos idosos, passa muito por usar as estratégias que estão mais “à mão”, por exemplo o idoso não consegue mastigar são-lhe dados líquidos ou sopas. Estamos a resolver o problema de imediato, sem, no entanto, resolver o problema de fundo e sem o resolver de forma inteiramente satisfatória. Se tivermos em atenção os melhores interesses do utente, teríamos de lhe dar alimentos com uma apresentação boa para que não necessitasse de mastigação, mas que continuasse com o mesmo sabor ou que fosse visualmente apetecível. Em suma, assegura-se uma resolução imediata, ou seja, conseguir dar de comer ao utente, no entanto não se salvaguarda o seu melhor interesse, que seria ter uma dieta adequada, nutritiva, saborosa, ter prazer na ingestão dos alimentos, no fundo promover uma qualidade de vida básica.

Aplicar a tecnologia à área da saúde, torna-se então na minha opinião, algo que deve ser aplicado, pois trabalha-se com variáveis como textura, sabor, aspeto, que pode ajudar e muito na resolução deste problema.

No entanto, para a construção deste artefacto é necessário analisar o mercado e conseguir perceber soluções para a obtenção dos componentes mecânicos que

conseguissem ser utilizados e obtidos por instituições de saúde deste tipo, uma vez que, um investimento num artefacto pode ainda ser algo dispendioso a nível monetário, quando pensamos em impressão 3D, recursos estes que nem qualquer instituição consegue possuir. Um fator positivo é esta ser uma área onde a precisão da máquina não é um fator de elevada relevância, desta forma, existe a possibilidade de conseguirmos combater o investimento dispendioso de forma a conseguirmos ao máximo diminuir o preço de um artefacto deste estilo, onde noutras áreas e noutros materiais como polímeros, quanto maior a precisão da máquina mais dispendiosa será.

A conceptualização deste artefacto demonstra que existiria a possibilidade de aplicação desta tecnologia, não só em lares, mas também em qualquer outra área da saúde, mostrando a existência de múltiplas possibilidades de aplicação do Fabrico Aditivo em áreas fora daquilo que é considerado expectável.

Na minha opinião, é e devia ser aplicado este tipo de máquinas na área da saúde, trazendo apenas vantagens naquilo que é a minha perspetiva.

10. Conclusão

Este trabalho centrou-se na conceptualização de um sistema de Fabrico Aditivo (FA) em alimentos para idosos com disfagia.

A disfagia é um sintoma relacionado com qualquer alteração no ato de engolir que dificulte ou impeça a ingestão oral segura, eficiente e confortável. Esta, pode ocorrer em qualquer faixa etária, como consequência de várias condições médicas e até psíquicas.

A tecnologia FA, popularmente designada por "impressão 3D", emergiu, expandiu-se e amadureceu até uma fase em que proporciona enorme liberdade para conceber, fabricar e inovar em múltiplas aplicações e negócios. Independentemente do processo e materiais utilizados, a tecnologia de FA tem como princípio base a utilização de sistemas, normalmente robotizados, que adicionam camadas de materiais, umas sobre as outras, de onde resultam formas tridimensionais.

Da problemática acima descrita, o FA é hoje uma tecnologia disruptiva aplicada em inúmeros casos de sucesso. A sua aplicação ao subsetor da saúde, poderá contribuir para melhorar a qualidade de vida dos idosos, e resolver os problemas resultantes da sua natural dificuldade em ingerir alimentos sólidos. **Neste contexto, nesta dissertação partimos do seguinte problema: Poderá a tecnologia de FA ser uma solução em alimentos adaptados às limitações provocadas pela disfagia em humanos?**

Encontrar uma possível solução para este problema foi o objetivo principal desta dissertação. Tratando-se de dissertação aplicada, optou-se pela metodologia *Design Science Research* (DSR).

Seguindo esta metodologia, partiu-se da definição dos requisitos conceptuais de um sistema de fabrico aditivo em alimentos, após o que se concluiu com o desenvolvimento dos blocos funcionais do sistema, os quais foram avaliados com sucesso por um grupo de especialistas.

Desta forma, considera-se que os objetivos propostos foram atingidos, tendo-se concluído, que a tecnologia de fabrico aditivo poderá ser uma solução viável em alimentos adaptados às limitações provocadas pela disfagia em humanos. Adicionalmente, consideramos que a DSR foi a metodologia adequada, uma vez que

permitiu encontrar uma possível solução para o problema de partida, e assim, contribuir para bem-estar da humanidade.

Limitações e caminhos futuros

Embora os objetivos tenham sido atingidos, a tecnologia de FA na indústria alimentar ainda está num estado embrionário, limitando dessa a arquitetura dos blocos funcionais do sistema.

Partindo dos blocos funcionais validados nesta dissertação, como trabalhos futuros, desafiamos académicos e práticos a realizar um protótipo à escala real e aplicá-lo num projeto piloto.

Adicionalmente sugere-se que futuros trabalhos se centrem no estudo dos materiais a utilizar nos alimentos, forma de controlar a sua textura bem como a sua união com outros materiais necessários, com vista a uma dieta alimentar equilibrada. Sugere-se também que uma análise custo-benefício seja realizado ao sistema de fabrico aditivo proposto e validado nesta dissertação.

Bibliografia

- Ahmed, Waleed, Haleimah Alabdouli, Hend Alqaydi, Aya Mansour, Huda Al Khawaja, and Hamad Al Jassmi. 2020. "Open Source 3D Printer: A Case Study." *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* 0(March):2995–3004.
- Angelina, Fátima, Cruz Jobim, and Eduardo Furtado. 2015. "Atividade Física , Nutrição e Estilo de Vida No Envelhecimento Exercise , Lifestyle and Nutrition in Aging." 298–308.
- Anon. n.d. "Delta 3D Printer." 29–34.
- B.A, Praveena, Lokesh N, Abdulrajak Buradi, Santhosh N, Praveena B L, and Vignesh R. 2021. "A Comprehensive Review of Emerging Additive Manufacturing (3D Printing Technology): Methods, Materials, Applications, Challenges, Trends and Future Potential." *Materials Today: Proceedings* (xxxx).
- vom Brocke, Jan, Alan Hevner, and Alexander Maedche. 2020. "Introduction to Design Science Research." Pp. 1–13 in.
- Çakan, Abdullah, Ahmet Saygın Ogulmuş, Abdullah Çakan, and Mustafa Tınkır. n.d. "Modeling And Position Control Of Scara Type 3D Printer Modeling And Position Control Of Scara Type 3D Printer." (81):3–7.
- Carolina, Ana, Bertoletti De Marchi, Rogerio Silva, Cristiano Roberto Cervi, and Vice-reitor Administrativo. n.d. *Humano*.
- Carrara AAE, et al. 2009. "Tratado de Disfagia."
- Dankar, Iman, Amira Haddarah, Fawaz E. L. Omar, Francesc Sepulcre, and Montserrat Pujolà. 2018. "3D Printing Technology: The New Era for Food Customization and Elaboration." *Trends in Food Science and Technology* 75(March):231–42.
- Darshini, P., and Suchitra. 2020. "International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)." (April):146–50.
- Diañez, I., C. Gallegos, E. Brito-de la Fuente, I. Martínez, C. Valencia, M. C. Sánchez, and J. M. Franco. 2021. "Implementation of a Novel Continuous Solid/Liquid Mixing Accessory for 3D Printing of Dysphagia-Oriented Thickened Fluids." *Food*

Hydrocolloids 120(April).

- Dick, Arianna, Bhesh Bhandari, Xiuping Dong, and Sangeeta Prakash. 2020. "Feasibility Study of Hydrocolloid Incorporated 3D Printed Pork as Dysphagia Food." *Food Hydrocolloids* 107(April):105940.
- Dick, Arianna, Bhesh Bhandari, and Sangeeta Prakash. 2021. "Printability and Textural Assessment of Modified-Texture Cooked Beef Pastes for Dysphagia Patients." *Future Foods* 3(June 2020):100006.
- Etikan, Ilker. 2016. "Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling." *American Journal of Theoretical and Applied Statistics* 5(1):1.
- Germain, Arnaud Ruppert David levine susan hanson maureen. 2017. "乳鼠心肌提取 HHS Public Access." *Physiology & Behavior* 176(3):139–48.
- Godoi, Fernanda C., Sangeeta Prakash, and Bhesh R. Bhandari. 2016. "3d Printing Technologies Applied for Food Design: Status and Prospects." *Journal of Food Engineering* 179:44–54.
- Guo, Chao Fan, Min Zhang, and Bhesh Bhandari. 2019. "A Comparative Study between Syringe-Based and Screw-Based 3D Food Printers by Computational Simulation." *Computers and Electronics in Agriculture* 162(August 2018):397–404.
- Guo, Nannan, and Ming C. Leu. 2013. "Additive Manufacturing: Technology, Applications and Research Needs." *Frontiers of Mechanical Engineering* 8(3):215–43.
- He, Yunbo, Xiquan Mai, Chengqiang Cui, Jian Gao, Zhijun Yang, K. A. I. Zhang, X. U. N. Chen, Y. U. N. Chen, and H. U. I. Tang. 2019. "Dynamic Modeling , Simulation , and Experimental Verification of a Wafer Handling SCARA Robot With Decoupling Servo Control." *IEEE Access* 7:47143–53.
- Jung, Sujin, Ji-Su Kim, Insil Jang, and Hyejin Kim. 2022. "Factors Related to Dysphagia-Specific Quality of Life in Aged Patients with Neurologic Disorders: A Cross-Sectional Study." *Geriatric Nursing* 43:159–66.
- Koo, Yeong Chin, Muhammad Muammar, Sapien Sauri, Teck Seng Kong, Kok Hang Poh, Ahmad Saiful Azhar, and Muhammad Nasiruddin Mahyuddin. 2019. "Control and Development of a 3D Printed SCARA Robot as an Underactuated System."

1(December):38–42.

- Lacerda, D. P., A. Dresch, A. Proença, and J. A. V. A. Júnior. 2013. “Design Science Research: A Research Method to Production Engineering.” *Gestao e Producao* 20(4):741–61.
- Le-Bail, Alain, Bianca Chierigato Maniglia, and Patricia Le-Bail. 2020. “Recent Advances and Future Perspective in Additive Manufacturing of Foods Based on 3D Printing.” *Current Opinion in Food Science* 35:54–64.
- Lipton, Jeffrey I., Meredith Cutler, Franz Nigl, Dan Cohen, and Hod Lipson. 2015. “Additive Manufacturing for the Food Industry.” *Trends in Food Science and Technology* 43(1):114–23.
- Liu, Yaowen, Shengkui Yi, Tingting Ye, Ying Leng, Md Alomgir Hossen, Dur E. Sameen, Jianwu Dai, Suqing Li, and Wen Qin. 2021. “Effects of Ultrasonic Treatment and Homogenization on Physicochemical Properties of Okara Dietary Fibers for 3D Printing Cookies.” *Ultrasonics Sonochemistry* 77:105693.
- Liu, Zhenbin, Min Zhang, Bhesh Bhandari, and Yuchuan Wang. 2017. “3D Printing: Printing Precision and Application in Food Sector.” *Trends in Food Science and Technology* 69:83–94.
- Mantihal, Sylvester, Rovina Kobun, and Boon Beng Lee. 2020. “3D Food Printing of as the New Way of Preparing Food: A Review.” *International Journal of Gastronomy and Food Science* 22(July):100260.
- Monzón, M. D., Z. Ortega, A. Martínez, and F. Ortega. 2015. “Standardization in Additive Manufacturing: Activities Carried out by International Organizations and Projects.” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 76(5–8):1111–21.
- Nachal, N., J. A. Moses, P. Karthik, and C. Anandharamakrishnan. 2019. “Applications of 3D Printing in Food Processing.” *Food Engineering Reviews* 11(3):123–41.
- Pallottino, F., L. Hakola, C. Costa, F. Antonucci, S. Figorilli, A. Seisto, and P. Menesatti. 2016. “Printing on Food or Food Printing: A Review.” *Food and Bioprocess Technology* 9(5):725–33.
- Peppers, Ken, Tuure Tuunanen, Marcus A. Rothenberger, and Samir Chatterjee. 2007. “A

- Design Science Research Methodology for Information Systems Research.” *Journal of Management Information Systems* 24(3):45–77.
- Pereira, RJ, RM Cotta, and SCC Frabceschini. 2006. “Fatores Associados Ao Estado Nutricional No Envelhecimento.” *Revista Médica de Minas Gerais* 16(3):160–64.
- Pereira, Tatiana, Sónia Barroso, and Maria M. Gil. 2021. “Food Texture Design by 3d Printing: A Review.” *Foods* 10(2):1–26.
- Pérez, Bianca, Hanna Nykvist, Anja F. Brøgger, Maria Barmar Larsen, and Mia Fiilsøe Falkeborg. 2019. “Impact of Macronutrients Printability and 3D-Printer Parameters on 3D-Food Printing: A Review.” *Food Chemistry* 287(February):249–57.
- Pinna, Claudia, Lucia Ramundo, Francesco G. Sisca, Cecilia Maria Angioletti, Marco Taisch, and Sergio Terzi. 2016. “Additive Manufacturing Applications within Food Industry: An Actual Overview and Future Opportunities.” *Proceedings of the Summer School Francesco Turco* 13-15-Sept:18–24.
- Pitayachaval, Paphakorn, Nattawut Sanklong, and Anantapoom Thongrak. 2018. “A Review of 3D Food Printing Technology.” *MATEC Web of Conferences* 213:1–5.
- Piyush, Raman Kumar, and Ranvijay Kumar. 2019. “3D Printing of Food Materials: A State of Art Review and Future Applications.” *Materials Today: Proceedings* 33:1463–67.
- Piyush, Raman Kumar, and Ranvijay Kumar. 2020. “3D Printing of Food Materials: A State of Art Review and Future Applications.” *Materials Today: Proceedings* (xxxx):2–6.
- Pries-Heje, Jan, Richard Baskerville, and John Venable. 2008. “Strategies for Design Science Research Evaluation.” *16th European Conference on Information Systems, ECIS 2008*.
- Pusch, Kira, Thomas J. Hinton, and Adam W. Feinberg. 2018. “Large Volume Syringe Pump Extruder for Desktop 3D Printers.” *HardwareX* 3(January):49–61.
- Santos, M. 2019. “A Eficácia Das Técnicas Posturais Na Prevenção Da Aspiração Na Pessoa Com Compromisso Da Deglutição.” *Esep* 156.
- Shi, Zhenxing, Christophe Blecker, Aurore Richel, Zuchen Wei, Jingwang Chen, Guixing

- Ren, Dongqin Guo, Yang Yao, and Eric Haubruge. 2022. "Three-Dimensional (3D) Printability Assessment of Food-Ink Systems with Superfine Ground White Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Protein Based on Different 3D Food Printers." *Lwt* 155(November 2021):112906.
- Sousa, Rodrigo João Medeiros de. 2012. "Desnutrição Em Geriatria Nos Países Desenvolvidos e as Suas Implicações Económicas e Sociais." 1–15.
- Steele, Catriona M., Ashwini M. Namasivayam-MacDonald, Brittany T. Guida, Julie A. Cichero, Janice Duivesteyn, Ben Hanson, Peter Lam, and Luis F. Riquelme. 2018. "Creation and Initial Validation of the International Dysphagia Diet Standardisation Initiative Functional Diet Scale." *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 99(5):934–44.
- Sun, Jie, Zhuo Peng, Liangkun Yan, Jerry Y. H. Fuh, and Geok Soon Hong. 2015. "3D Food Printing-An Innovative Way of Mass Customization in Food Fabrication." *International Journal of Bioprinting* 1(1):27–38.
- Sun, Jie, Zhuo Peng, Weibiao Zhou, Jerry Y. H. Fuh, Geok Soon Hong, and Annette Chiu. 2015. "A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication." *Procedia Manufacturing* 1:308–19.
- Sun, Jie, Weibiao Zhou, Dejian Huang, Jerry Y. H. Fuh, and Geok Soon Hong. 2015. "An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication." *Food and Bioprocess Technology* 8(8):1605–15.
- Sun, Jie, Weibiao Zhou, Liangkun Yan, Dejian Huang, and Lien ya Lin. 2018. "Extrusion-Based Food Printing for Digitalized Food Design and Nutrition Control." *Journal of Food Engineering* 220:1–11.
- Sura, Livia, Aarthi Madhavan, Giselle Carnaby, and Michael A. Crary. 2012. "Dysphagia in the Elderly: Management and Nutritional Considerations." *Clinical Interventions in Aging* 7:287–98.
- Venable, John, Jan Pries-Heje, and Richard Baskerville. 2014. "FEDS: A Framework for Evaluation in Design Science Research." *European Journal of Information Systems* 25(1):77–89.
- Wang, Q., N. Mitsumura, Q. Chen, A. Sarkar, H. Kurokawa, K. Sekiguchi, and K.

- Sugiyama. 2014. *Investigation of Condensation Reaction during Phenol Liquefaction of Waste Woody Materials*. Vol. 9.
- Wong, Kaufui V., and Aldo Hernandez. 2012. "A Review of Additive Manufacturing." *ISRN Mechanical Engineering* 2012:1–10.
- Xing, Xuebing, Bimal Chitrakar, Subrota Hati, Suya Xie, Hongbo Li, Changtian Li, Zhenbin Liu, and Haizhen Mo. 2022. "Development of Black Fungus-Based 3D Printed Foods as Dysphagia Diet: Effect of Gums Incorporation." *Food Hydrocolloids* 123(August 2021):107173.
- Yoshikawa, Mariana Wong, and Kalenin De Moraes Branco. 2015. "Desenvolvimento de Impressora 3D de Coordenadas Polares." *Mecatrone* 1(1):1–11.
- Zakaria, Sakinah, Paul Mativenga, and Akos Cseke. 2022. "Energy Consumption and Scope 2 Emissions for Fused Deposition Modelling." *Procedia CIRP* 105:31–36.
- Zhu, Sicong, Markus A. Stieger, Atze Jan van der Goot, and Maarten A. I. Schutyser. 2019. "Extrusion-Based 3D Printing of Food Pastes: Correlating Rheological Properties with Printing Behaviour." *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 58(August):102214.