

Trabalho de Técnicas de Prototipagem Rápida



Grupo 3:

Carolina Saraiva Neto 95130 MEDP
João Gamboa Marques 98246 MIEM
Luís Filipe Cantante 85022 MIEM
Miguel Vieira 92596 MEDP

Índice

1.	Introdução e Objetivos.....	4
2.	Apresentação do Produto	4
3.	Protótipos.....	6
3.1.	Introdução aos Protótipos.....	6
3.2.	Protótipo 0	7
3.3.	Protótipo 1	8
3.3.1	Estratégia de simulação	8
3.3.2	Simulação 1: Análise de Encurvamento	10
3.3.3	Simulação 2: Análise Estática da Tampa	11
3.3.4	Simulação 3: Análise Estática do Vaso	14
3.3.5	Resultado do Protótipo.1	16
3.4.	Protótipo 2	16
3.4.1	Correção de encaixes e pormenores.....	16
3.4.2	Estudo do processo de fabrico	17
3.4.3	Processo de impressão.....	18
3.4.4	Acabamento e sessão fotográfica	19
3.4.5	Realidade virtual.....	20
3.4.6	Resultado do Protótipo 2	20
4.	Planeamento e calendarização	21
5.	Propostas de melhoria e análise crítica	21
6.	Bibliografia	23
7.	Anexo A: Propriedades do Material	24
8.	Anexo B: Tabelas de parâmetros para impressão.....	25
9.	Anexo C: Fotografias extra do Protótipo 2.....	26
10.	Anexo D: Links para os vídeos de Realidade Virtual	27
11.	Anexo E: Calendarização	28
12.	Anexo F: Revisão bibliográfica.....	1
12.1.	Artigo 1 - Design and development of a tomato-packaging container using Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) plastic sheets	1
12.2.	Artigo 2 - Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges	3
12.3.	Artigo 3 - Design consideration for design a flat and ring plastics part using Solidworks software.....	5
12.4.	Artigo 4 - PP in 3D Printing – Technical and Economic Aspects.....	7

Lista de Figuras

Figura 1: Poster Verde ao Cubo.....	4
Figura 2: Modo de funcionamento.	6
Figura 3: Modelação final obtida em PDP11.	7
Figura 4: Modelação do Protótipo 0.	7
Figura 5: Vaso para cálculo de volume.....	8
Figura 6: Esquema representativo do cenário de projeção e esquematização das forças.....	9
Figura 7: Perna da tampa do Conjunto.	10
Figura 8: Condições de fronteira e malha utilizada para a simulação 1.	10
Figura 9: Resultado da Deformação da simulação.....	11
Figura 10: Geometria de referência da perna - Caixa de Arrumos.	11
Figura 11: Perna da tampa superior.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 12: Tampa superior do conjunto.....	12
Figura 13: Condições de fronteira e malha utilizada para a simulação 2.	12
Figura 14: Representação dos deslocamentos da simulação 2.....	13
Figura 15: Tampa superior reforçada.....	13
Figura 16: Reforços geométricos numa mesa de plástico utilizada como referência	13
Figura 17: Vaso do conjunto	14
Figura 18: Condições de fronteira e malha utilizada para a simulação 3.	14
Figura 19: Geometria de referência da base - Caixa de arrumos.....	15
Figura 20: Geometria final do vaso	15
Figura 21: Resultado da simulação 3 para o Vaso final relativamente ao deslocamento	15
Figura 22: Protótipo 1.	16
Figura 23: Tampa antes e depois da alteração	17
Figura 24: Correção de encaixe.....	17
Figura 25: Draft analyses aplicado ao conjunto	18
Figura 26: Ficheiros Cura e preparação.....	19
Figura 27: Impressão da base à esquerda e resultado final à direita	19
Figura 28: Protótipo pós acabamento.....	19
Figura 29: Algumas fotografias do Protótipo 2	20

1. Introdução e Objetivos

O presente relatório insere-se na unidade curricular de Técnicas de Prototipagem Rápida. Esta unidade curricular tem como principal objetivo a exploração de técnicas de prototipagem em perspetiva real. Para tal, foi lançado o desafio de partir de projetos desenvolvidos anteriormente pelos alunos repensar toda a estratégia de prototipagem, recorrendo às técnicas mais adequadas, de modo que no final se possa apresentar, no mínimo, dois protótipos do produto. Ou seja, dois aspetos que se desejam testar de qualquer estágio do desenvolvimento do referido produto.

Com este trabalho pretende-se estimular a literacia técnico-científica e o pensamento crítico em técnicas de prototipagem rápida e o seu aprofundamento prático no processo de desenvolvimento de produto, idealmente em interação com empresas da região.

2. Apresentação do Produto

Unidade Curricular: PDPII (Projeto ao Desenvolvimento de Produto II)

Autores: Miguel Vieira, Tomás Maia, João Silva

Ano: 2019



Figura 1: Poster Verde ao Cubo.

No dia a dia das crianças a sua alimentação não é a mais correta, devido a texturas diferentes, sabores mais amargos ou salgados, isto leva a que não consumam legumes ou frutas. Estes alimentos são fontes de vitaminas, fibras e minerais essenciais para o crescimento e para a saúde em geral.

É para corrigir este tipo de falha que o Verde ao Cubo surge (Figura 1). O projeto consiste numa solução que pretende explorar a experiência alimentar infantil, melhorando-a, através do cultivo biológico, em pequena escala, de alimentos saudáveis, importantes para uma nutrição regular e equilibrada.

O projeto Verde ao Cubo tem como objetivos estratégicos ajudar na alimentação infantil, proporcionando uma alimentação saudável, aplicar uma educação baseada em bons hábitos alimentares, responder às necessidades da economia circular e implementar uma mentalidade ambiental e sustentável.

Ao cultivar os próprios alimentos, as crianças irão desenvolver uma melhor perceção acerca da origem dos mesmos. Tendo de cuidar e nutrir as plantas de forma regular, é-lhes inculcido o sentido de responsabilidade. Ao verem as plantas a crescer, as crianças criam uma ligação com o alimento, valorizando o tempo que a planta necessita para crescer, até estar pronta para ser colhida. Posteriormente, o alimento é colhido, lavado, levado para mesa e está pronto a comer ou a cozinhar. Desta forma, pretende-se, através de todo o envolvimento referido, melhorar geralmente a alimentação de todas as crianças entre os 4 e 10 anos.

O projeto também tem como objetivo responder às necessidades da economia circular - um conceito estratégico que consiste na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia. Com a utilização dos módulos das hortas, podemos obter várias culturas ao longo do ano, criando sempre alimento cultivado em casa.

Por fim, o projeto Verde ao Cubo procura promover uma mentalidade ambiental e sustentável, sensibilizando as crianças para a importância de cuidar do meio ambiente e incentivando o uso de práticas sustentáveis no seu dia a dia.

O modo de funcionamento é bastante simples e eficiente, sendo que a horta é constituída por 3 componentes, a tampa, o vaso e o vaso interior. Consoante as plantas e os legumes plantados, alguns tipos necessitam de maior espaço vertical para poder crescer, e, para isso, o módulo apresenta uma tampa amovível que pode ser colocada na base do vaso, permitindo que não exista limite de altura. Estas hortas são modulares e possibilitam que cada pessoa possa construir a configuração que pretende, dependendo do número de conjuntos que tem à disposição, como apresentado na Figura 2.



Figura 2: Modo de funcionamento.

O Verde ao Cubo tem como visão ser líder no mercado de hortas modulares, através de um grande volume de vendas. O mercado de hortas modulares tem vindo a crescer rapidamente nos últimos anos, impulsionado pelo aumento da consciencialização sobre a importância da alimentação saudável e sustentável. Após uma avaliação cuidadosa, foi decidido que a tecnologia mais adequada para a produção do projeto Verde ao Cubo seria a injeção por moldação de polipropileno (PP).

O polipropileno é um termoplástico durável e resistente a impactos, o que o torna ideal para o uso em caixas de armazenamento e transporte. Além disso, é resistente a ácidos e bases, além de ser de fácil limpeza, o que o torna adequado para uso em ambientes alimentares. A tecnologia de injeção por moldação permite que o polímero seja fundido e, em seguida, moldado em forma de caixa através de uma série de etapas de processamento. Isso permite produzir conjuntos de alta qualidade, de forma rápida e eficiente. As propriedades do material encontram-se tabeladas no Anexo A.

3. Protótipos

3.1. Introdução aos Protótipos

A prototipagem tem como principal função auxiliar no desenvolvimento de um produto, envolvendo uma ou várias características de interesse para uma aproximação ao resultado pretendido. Os protótipos em estudo não são exceção, sendo capazes de comunicar com clareza vários aspetos do projeto, influenciando positivamente todo o processo de desenvolvimento do produto. No projeto Verde ao Cubo, vamos estudar a prototipagem de duas formas distintas.

Para dar início a todo o processo, foi adotado o protótipo 0 - uma adaptação do projeto anteriormente desenvolvido que serve de arranque para as posteriores fases de prototipagem. Assim, na primeira fase de prototipagem, é desenvolvido um protótipo analítico, traduzindo-se o mesmo em vários estudos e análises matemáticas, permitindo avaliar toda a segurança e funcionalidade básica do produto. Já para a segunda fase de prototipagem, de modo a estudar a montagem e encaixes do produto, recorre-se a um protótipo físico. Assim, garante-se o correto empilhamento geral do projeto, complementado com um exercício de realidade virtual, além disso é também testada a funcionalidade do produto, ao ser colocada terra e plantas.

3.2. Protótipo 0

Foi utilizada a modelação final da unidade curricular de PDPII como ponto de partida do projeto. Ao analisar a modelação, verificou-se que o modelo digital disponível não estava preparado de acordo com a tecnologia de fabrico e material indicados, sendo apenas uma modelação com finalidade estética de auxílio ao processo de renderização.



Figura 3: Modelação final obtida em PDPII.

Desta forma, foi necessário aplicar ao Protótipo 0 um maior rigor em relação à peça, à manufatura e ao material final. Tendo em conta o processo de moldagem por injeção de plásticos foi adicionado, numa primeira fase, um ângulo de saída de 1° [1], de forma que a peça possa desmoldar. Foi tida, ainda, em atenção a geometria geral da peça, para que não existam contra-saídas que impossibilitem a desmoldagem da peça.

Foi obtida uma espessura de 3 mm para os dois componentes. Esta espessura revelou-se a recomendada para peças similares, utilizando a mesma tecnologia de fabrico [1]. Alguns pormenores como o arredondamento de esquinas vivas e a espessura constante são importantes para que não existam defeitos de fabrico no momento do arrefecimento do plástico, o que pode provocar rachas e defeitos no produto. Como estas peças são submetidas a forças, estes defeitos podem provocar falhas graves e comprometer toda a funcionalidade do produto em análise. Desta forma, a modelação realizada (Figura 4) é apenas uma adaptação para um ponto de partida viável para o seguimento da prototipagem, sendo previsto que, no desenvolvimento do projeto, estas geometrias tenham de sofrer variadas mudanças.

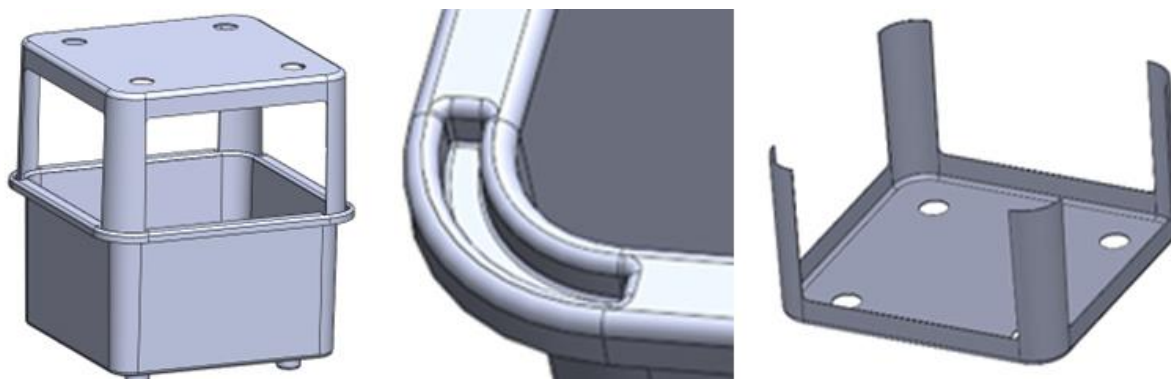


Figura 4: Modelação do Protótipo 0.

3.3. Protótipo 1

O primeiro protótipo é analítico e tem como finalidade validar estruturalmente e geometricamente todas as estruturas que são submetidas a esforços durante a utilização do produto. Para tal, é definida uma estratégia e 3 etapas de simulação, que, em conjunto, conferem segurança aos diferentes componentes do produto. Este protótipo, na medida de aproximação ao produto real, visa suportar, sem qualquer problema, todas as cargas a que estará sujeito durante a utilização real do conjunto.

3.3.1 Estratégia de simulação

Uma vez que uma das funcionalidades do projeto é serem empilhados até 5 conjuntos, é necessário dimensionar o módulo para que tal seja conseguido sem quaisquer dificuldades, isto é projetar para o pior cenário possível. Para isso, é imprescindível calcular a massa de cada conjunto, tendo em conta todos os componentes que entram na equação. Adicionalmente pretende-se atingir um coeficiente de segurança de 1,5, este valor é baseado num artigo revisto que apresenta a sugestão para produtos de categoria semelhante [2].

Em primeiro lugar, é necessário calcular o volume interior do vaso para que seja possível, através da densidade, obter a massa necessária de forma que o interior deste seja apenas preenchido com terra molhada (pior caso possível).

Através da geometria ilustrada na Figura 5, obteve-se um volume de 11,4 Litros. Assim, é agora exequível o cálculo da massa a considerar. Embora numa situação real nunca se tenha 100 % do interior do vaso preenchido com terra molhada, este estudo é projetado de modo a sobre dimensionar por questões de segurança.

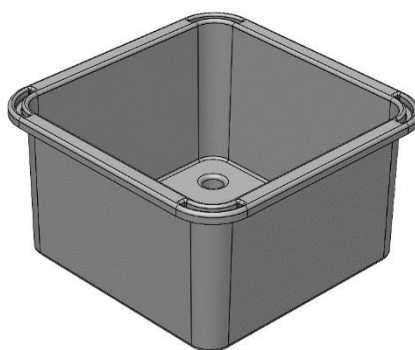


Figura 5: Vaso para cálculo de volume.

Para auxiliar o cálculo do volume de terra, encontram-se disponíveis dois valores de densidade, um relativo à massa volúmica de terra molhada e outro relativo à terra seca. Os valores encontram-se disponíveis na Tabela 1 e foram retirados de [3].

Tabela 1: Densidades da Terra [3].

	Densidade [kg/m ³]
Terra Molhada	2000
Terra Seca	1500

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

ρ – Densidade [kg/m³]

m – massa [kg]

V – Volume [m³]

Desta forma, a massa referente à terra molhada é de 23 quilogramas. Seguidamente, é necessário ter em consideração a massa de cada conjunto e realizar-se a sua soma, o que permite a correta consideração de todos os componentes a ter em conta. Assim, utilizou-se o Protótipo 0 para se calcular a massa do conjunto (Figura 4).

O valor obtido para a massa do conjunto é de meio quilograma, considerando-se, assim, um total de 23,5 quilogramas. Através deste resultado, é possível definir valores para as forças a ter em conta em cada simulação, tornando-se viável prosseguir para a análise numérica.

No esquema abaixo é visível o pior cenário pretendido para a utilização do projeto, 5 conjuntos empilhados e as forças a que cada um está submetido, no caso de todos serem preenchidos com terra molhada. Assim, conclui-se que estamos a projetar para o conjunto que se encontra na base inferior da Figura 6.

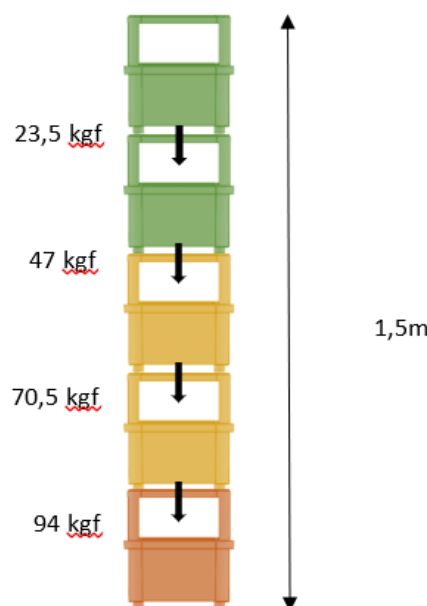


Figura 6: Esquema representativo do cenário de projeção e esquematização das forças.

3.3.2 Simulação 1: Análise de Encurvamento

A primeira etapa de simulação tem como objetivo validar as Pernas da Tampa (Figura 7). Assim, através de uma análise de encurvamento, pretende-se saber qual a magnitude de força que cada perna da tampa superior consegue suportar. O teste é efetuado de modo que cada perna resista a, pelo menos, um quarto da carga total a suportar pela tampa do conjunto, 23,5 kgf. Para este estudo iremos analisar o fator de carga de encurvamento e a carga crítica de encurvadura.



Figura 7: Perna da tampa do Conjunto.

Recorrendo ao software *Solidworks* da *Dassault Systèmes*, prepara-se a simulação (*buckling study*), encastrando a base da perna e colocando restrições de movimento na parte superior da mesma, de modo a substituir a estrutura em falta. Estas condições estão ilustradas na Figura 8. Também a malha utilizada no estudo se encontra ilustrada e é do tipo sólida com base na curvatura.

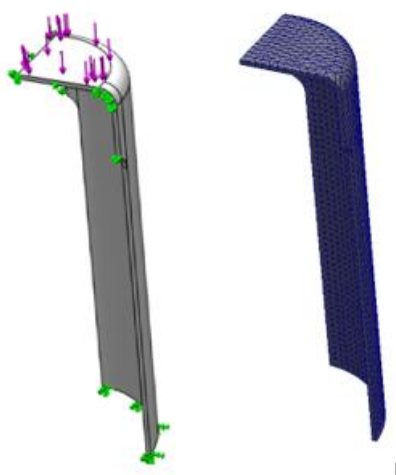


Figura 8: Condições de fronteira e malha utilizada para a simulação 1.

Os resultados obtidos revelam que a força em estudo é superior à primeira carga de encurvadura, sendo obtido um valor de fator de carga de encurvamento, para o primeiro modo, de 0,76. A representação do comportamento para o primeiro modo encontra-se na Figura 9.

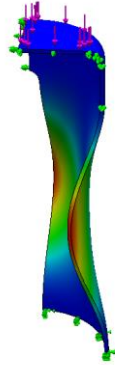


Figura 9: Resultado da Deformação da simulação.

Assim, é possível concluir que a geometria da perna deve ser alterada de modo a proporcionar resultados mais positivos. Através de um processo iterativo com base em produtos reais, seguiram-se algumas alterações geométricas que favorecem a resistência à carga de encurvadura. As subsequentes Figura 10 e Figura 11 retratam o objeto real que serviu como inspiração para a geometria final da perna, o que permitiu o seguimento do estudo.



Figura 10: Geometria de referência da perna - Caixa de Arrumos.

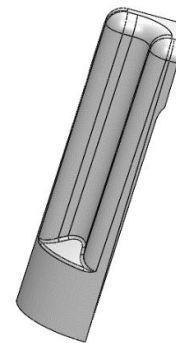


Figura 11: Perna da tampa superior.

3.3.3 Simulação 2: Análise Estática da Tampa

A segunda etapa de simulação permite validar a tampa superior do conjunto (Figura 12). A simulação em causa pretende estudar, através do método dos elementos finitos, o comportamento deste componente quando submetido ao empilhamento dos restantes conjuntos. Neste estudo, analisaram-se os deslocamentos sofridos, as tensões equivalentes de von Mises e os fatores de segurança.

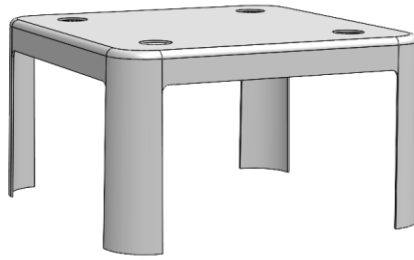


Figura 12: Tampa superior do conjunto.

Para começar, é necessário definir a carga uniformemente distribuída sobre a parte superior da tampa com um valor de 94 kgf, esta magnitude representa os 4 conjuntos empilhados em cima deste componente (Figura 13). Depois da definição da carga, aplicam-se restrições específicas de movimento, para que aumente a veracidade do estudo. Finalmente, prepara-se a malha do tipo *curvature based* que se revela mais sensível à distribuição dos elementos com a geometria do modelo.

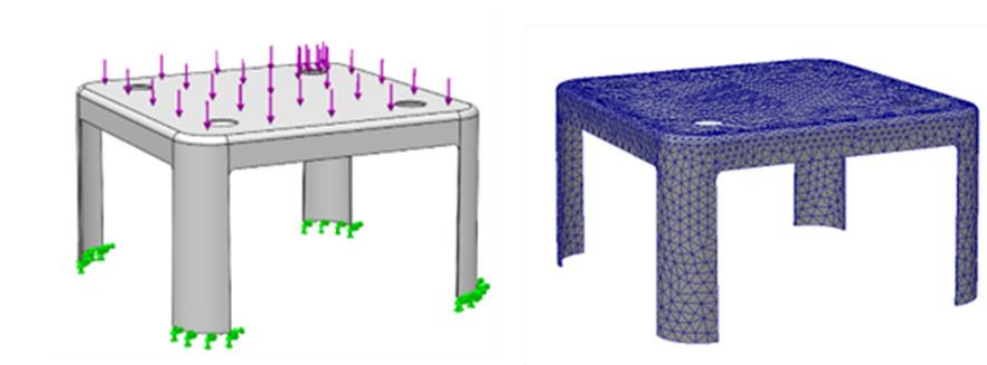


Figura 13: Condições de fronteira e malha utilizada para a simulação 2.

Depois de se preparar o modelo, as cargas e as restrições e se escolher a malha de elementos, a simulação estática pode ser executada. Os resultados da simulação, incluindo as tensões, deformações e deslocamentos, podem então ser visualizados e analisados.

Os resultados da simulação não satisfazem os objetivos e colocam em causa toda a funcionalidade de empilhamento de conjuntos. No que toca ao deslocamento obtivemos, na zona a vermelho (Figura 14) valores de 25 mm, que acabam por tornar instável a funcionalidade de amontoar vários conjuntos. De notar que os valores de tensão limite de elasticidade não foram atingidos, assegurando a geometria do produto.

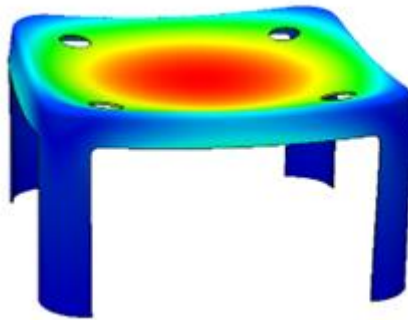


Figura 14: Representação dos deslocamentos da simulação 2.

Desta forma, é necessário realizar uma pesquisa sobre nervuras e suportes utilizados nestes tipos de estruturas de modo a reduzir o deslocamento causado pelos restantes conjuntos. Após algumas alterações geométricas e vários testes é visível a geometria final (Figura 15), baseada numa mesa de plástico (Figura 16), que conta com reforços de 4 mm de largura e valida os critérios para que se possa passar à seguinte etapa.

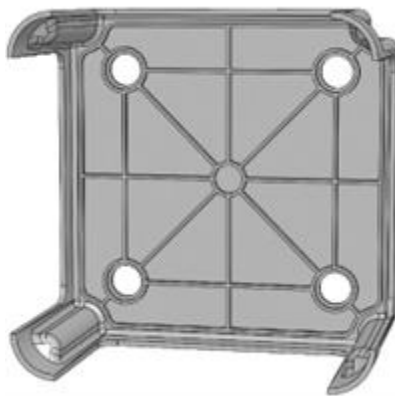


Figura 15: Tampa superior reforçada.



Figura 16: Reforços geométricos numa mesa de plástico utilizada como referência.

Para esta nova peça os deslocamentos revelaram-se, no máximo, com 10 mm e com um fator de segurança de 2,5, tendo este subido uma unidade.

Assim, pode-se prosseguir para a próxima simulação. Verificou-se a importância e o impacto que estruturas auxiliares para este tipo de componentes apresentam.

3.3.4 Simulação 3: Análise Estática do Vaso

Finalmente, a última etapa de simulação pretende validar, através do mesmo tipo de simulação anterior, a base do vaso. O estudo foca-se nos mesmos parâmetros que o anterior e visa analisar o comportamento deste componente quando completamente preenchido com terra molhada.

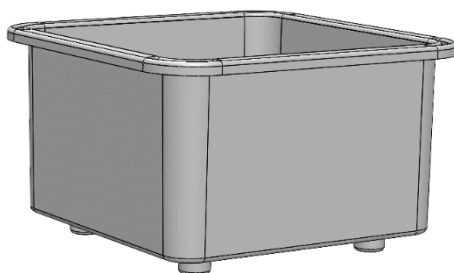


Figura 17: Vaso do conjunto.

Como referido na secção 3.3.3, para o volume do vaso preenchido com terra molhada, a força que a terra aplica na base do mesmo são 225,4 N, que se reflete numa carga uniformemente distribuída. No que toca a restrições de movimento, de modo a simular as condições em que se agarra a parte superior do vaso, restringe-se movimento na parte superior do componente e aplica-se a força na base do vaso. Para a malha, aplica-se a mesma que a última utilizada (Figura18).

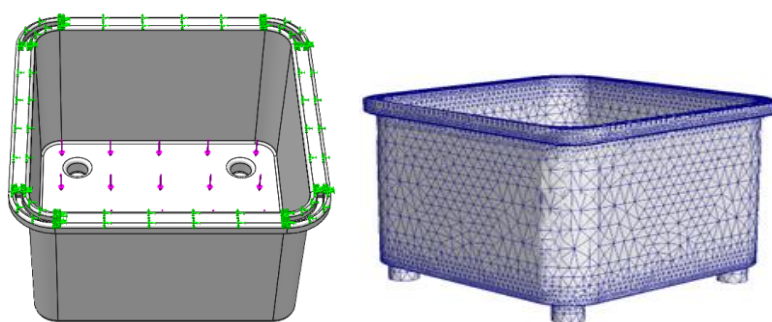


Figura 18: Condições de fronteira e malha utilizada para a simulação 3.

Após a preparação da simulação e assim que a mesma é concluída, é possível analisar os resultados. Os resultados não se revelaram como um problema para a funcionalidade do produto. O valor do deslocamento máximo foi de 13 mm e as tensões equivalentes mantêm-se sempre no regime elástico. No entanto, algumas alterações, para prevenção de excesso de carga e para adaptar o encaixe da base inferior à tampa, foram efetuadas. Assim, mais uma vez, recorreu-se à caixa de arrumos (Figura 19), porém desta vez, esta serviu para influenciar o local por onde se agarra o vaso e demonstra que a sua geometria ajuda na distribuição das tensões (Figura 20).



Figura 19: Geometria de referência da base - Caixa de arrumos.

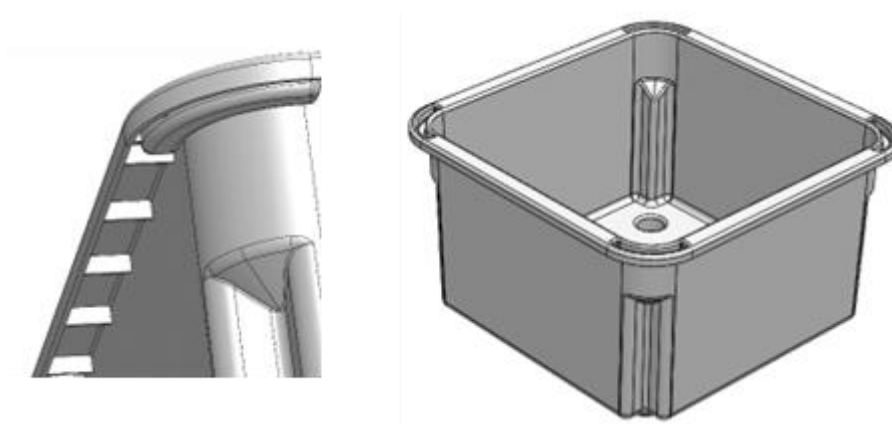


Figura 20: Geometria final do vaso.

Desta forma, executou-se a simulação para as mesmas condições de estudo, obtendo melhorias significativas. Os resultados revelam um fator de segurança de 3 e deslocamentos de 9 mm como mostra a Figura 21, onde a cor vermelha representa a zona de maior deslocamento, e o valor máximo de tensão equivalente de Von Mises de 9 MPa. Assim, dão-se por concluídas as etapas de simulação numérica para o projeto e verifica-se a influência da geometria na componente estrutural dos objetos.

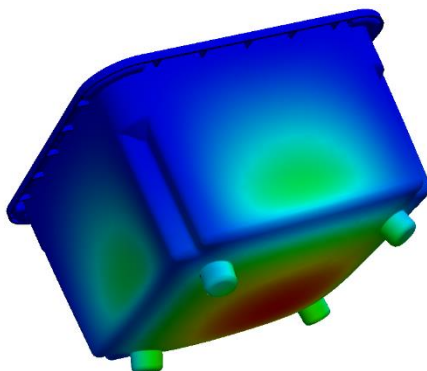


Figura 21: Resultado da simulação 3 para o Vaso final relativamente ao deslocamento.

3.3.5 Resultado do Protótipo.1

Na figura abaixo encontra-se o resultado do primeiro protótipo analítico. Após os estudos a que os componentes foram submetidos, são visíveis as alterações geométricas quando comparado com a versão do Protótipo 0 (Figura 4). Desta forma, é possível afirmar que, após a metodologia utilizada, o processo de desenvolvimento do produto foi acelerado. Apresenta-se, nesta fase, um protótipo em que os seus componentes estão aptos para suportar estruturalmente as cargas aplicadas no seu ato de utilização.

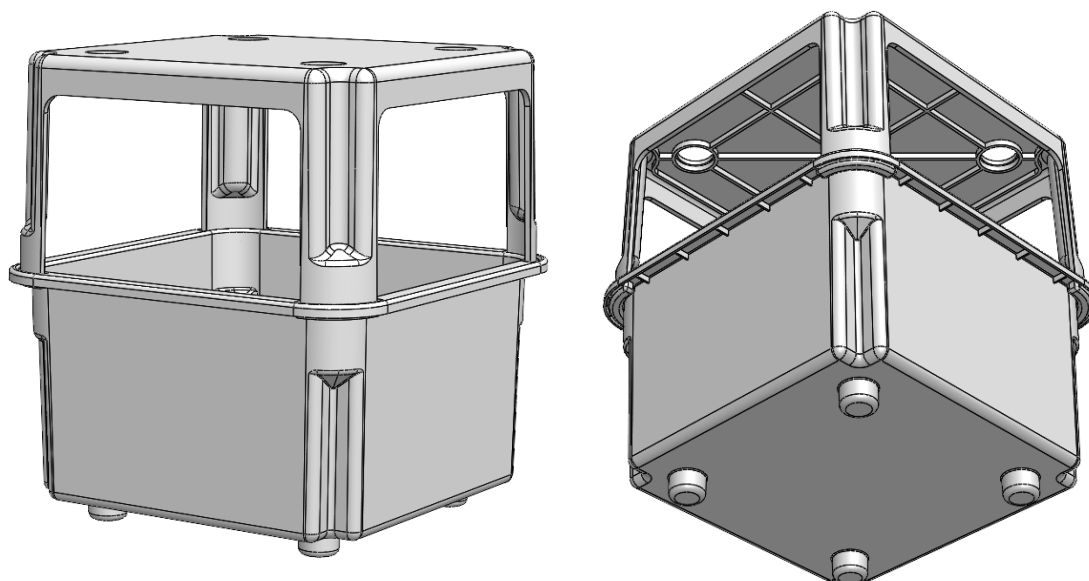


Figura 22: Protótipo 1.

3.4. Protótipo 2

O segundo protótipo é do tipo físico e tem como finalidade testar parcialmente o desempenho do produto quanto à sua funcionalidade, quer do ponto de vista de encaixes, quer do ponto de vista de plantação. Nesta fase, pretendem-se fazer algumas correções a nível dos encaixes da Tampa e do Vaso, além de se executar a impressão 3D para validar a montagem dos mesmos.

3.4.1 Correção de encaixes e pormenores

O primeiro passo para o progresso deste protótipo, foi verificar que quando se colocava a Tampa na parte de baixo do Vaso existia instabilidade, o que poderia causar insegurança no produto. Desta forma, procurou-se uma solução que permitisse resolver o problema sem colocar em questão o fabrico do produto. A figura subsequente pretende ilustrar a primeira alteração (Figura 23).

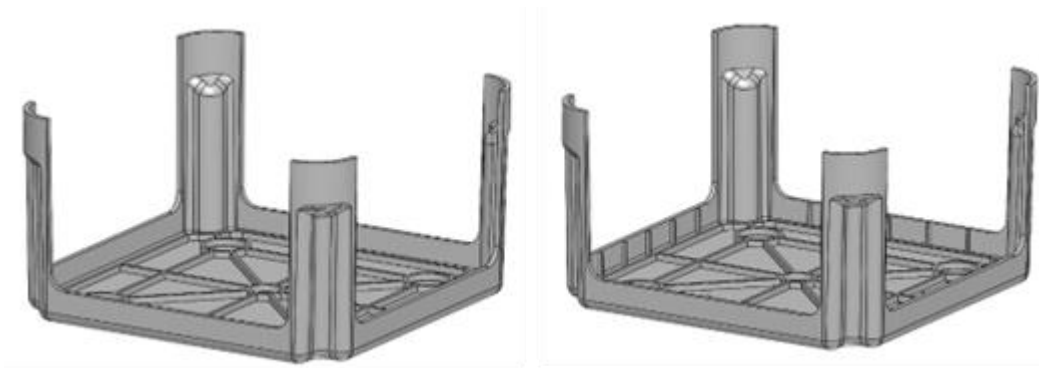


Figura 23: Tampa antes e depois da alteração.

Desta forma, garantiu-se a correta montagem na situação em estudo, a solução revelou-se prática e simples e, após alguns ajustes de geometrias na estrutura de encaixe do vaso (Figura 24), é possível garantir uma correta e estável união de ambos os componentes. Assim, passa-se à etapa seguinte e verifica-se a viabilidade do processo de fabrico.

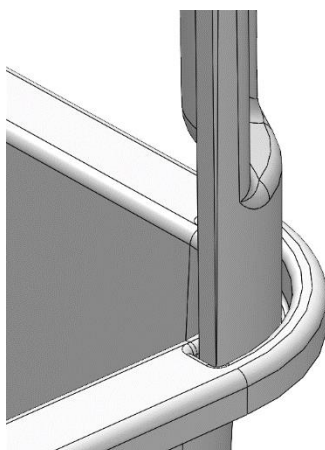


Figura 24: Correção de encaixe.

3.4.2 Estudo do processo de fabrico

Para garantir um correto processo de fabrico existem ferramentas que permitem estudar o processo a que o produto estará submetido no seu fabrico. Dessa forma, após serem seguidas algumas regras que são necessárias em modelação de peças para injeção (como os ângulos de saída e a espessura constante), foi realizada uma análise, através do *Solidworks*, recorrendo à ferramenta *Draft Analyses* de modo a verificar se a peça é adequada para o processo de moldagem por injeção.

Foi possível concluir, após alguns ajustes, que o ângulo mínimo dos componentes se manteve a 1° e que, desta forma, se garante a desmoldagem da peça sem danificar ou deformar a mesma, como é visível na Figura 25.

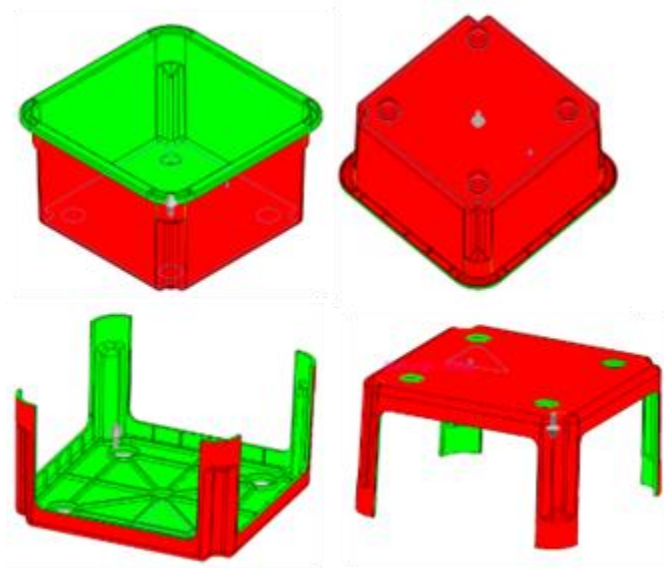


Figura 25: *Draft analyses aplicado ao conjunto.*

3.4.3 Processo de impressão

Para a impressão dos componentes, o material escolhido foi o PLA (*Poli-Lactic Acid*) que é um material termoe estável bastante utilizado em impressoras 3D FDM (*Fused Deposition Modeling*). Este material é uma opção versátil e económica.

A impressora utilizada foi a *Creality Ender 3 V2* e foi necessário alterar a escala da impressão. A mesa da impressora apresenta apenas as medidas de 235x235mm e, por esse motivo, foi utilizada uma escala de 2:1 – reduziu-se para metade o tamanho previsto para os componentes a imprimir. Esta alteração apenas limita a área de plantação no vaso, no entanto todos os objetivos do protótipo podem ser concluídos e testados.

Para preparar a impressão utilizou-se o *software Ultimaker Cura*, onde foi possível otimizar todo o processo de conversão dos arquivos para serem compatíveis com a impressora. Desta forma, foi programado todo o processo de impressão através da função *Slice*. Nas tabelas 25 no 25 encontram-se registados os valores para os parâmetros mais relevantes para a impressão de cada componente. Para o Vaso, o tempo de impressão foi de 2 dias e 4 horas, gastando 640g de material, e para a Tampa 14 horas e 40 minutos com 100g de material.

As Figuras 26 e 27 mostram um pouco do processo de impressão e o conjunto impresso. No que toca ao Vaso, o mesmo foi impresso com o orifício em contacto com a mesa de impressão, uma vez que a geometria das bordas e dos pés no caso do processo inverso não iria ficar definida corretamente. Assim, existiu um grande desperdício de material devido à estrutura de apoio interior.

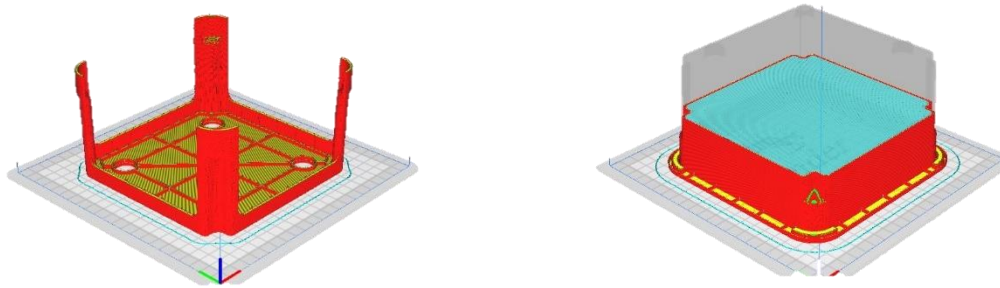


Figura 26: Ficheiros Cura e preparação.

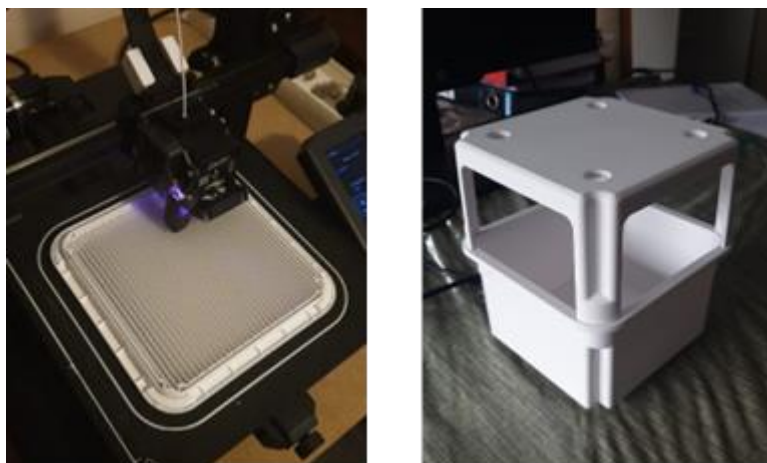


Figura 27: Impressão da base à esquerda e resultado final à direita.

3.4.4 Acabamento e sessão fotográfica

A impressão teve um preço de 20€ e de seguida, procedeu-se à remoção das estruturas de suporte e ao acabamento da superfície, onde toda a estrutura foi lixada de modo a melhorar a aparência e a suavizar as superfícies da peça. Além disso, pintou-se o protótipo no sentido de conferir um aspeto mais finalizado e próximo do produto final, Figura 28.



Figura 28: Protótipo pós acabamento.

Posteriormente, algumas plantas e terra foram transferidas para o conjunto, onde ganharam uma nova casa. Procedeu-se a uma sessão fotográfica do protótipo. Com as fotografias de demonstração do produto, é destacada a opção de o Verde ao Cubo funcionar tanto num espaço interior como num espaço exterior, além de ser de fácil mobilidade. Algumas fotos extra encontram-se no Anexo C.



Figura 29: Algumas fotografias do Protótipo 2.

3.4.5 Realidade virtual

O mercado e a indústria exigem sempre uma maior inovação na área de desenvolvimento de produto. A realidade virtual permite visualizar o produto final num ambiente pretendido, de forma a explorar o aspeto final do produto. Com o objetivo de conhecer um pouco mais as ferramentas exploradas nas aulas da disciplina de Técnicas de Prototipagem Rápida, procedeu-se à realização de um ambiente virtual para tornar a apresentação do produto mais dinâmica. Embora se admitam ainda algumas melhorias, verifica-se que é uma forma mais iterativa de apresentar os conjuntos e pode revelar-se bastante positiva no que toca a despertar a atenção de um possível cliente. O link que direciona para os vídeos preparados para a realidade virtual encontram-se no Anexo D.

3.4.6 Resultado do Protótipo 2

Finalmente, após todo o processo descrito, considera-se concluído o segundo protótipo, que reflete detalhes de um estudo adequado à estabilidade e ao tipo de fabrico a que o produto irá ser submetido. Além disso, verifica-se, através da impressão, que o protótipo cumpre a principal função – possibilitar a plantação.

4. Planeamento e calendarização

Ao longo do trabalho, procurou-se reunir todos os membros do grupo semanalmente e, em cada reunião, discutir as etapas do projeto de forma clara e específica. Assim, de modo a identificar os recursos, pessoais e temporais necessários para a realização de cada tarefa, definiram-se áreas de especialização para cada membro do grupo. Além disso, recorreu-se à criação de um cronograma detalhado (Anexo E) para o projeto, que inclui prazos e tarefas específicas para cada membro do grupo refletindo, assim, a metodologia aplicada.

5. Propostas de melhoria e análise crítica

Com este trabalho, percebemos rapidamente que a modelação inicial do projeto não estava preparada para injeção nem aguentava estruturalmente as cargas para as quais foi projetado. Modificámos, assim, a modelação para o processo de fabrico e a geometria para aguentar os esforços em contexto de uso. Encontrámos validação estrutural em objetos já existentes em nossa casa e, juntamente com alguns testes e simulações virtuais, conseguimos desenvolver uma versão funcional do projeto inicial.

Tivemos alguns problemas no tipo de testes a realizar na tampa da horta, pois, no início do projeto, não considerámos a encurvadura das pernas. As pernas deformam naturalmente e essa grandeza tem de ser considerada, por isso realizámos a análise de encurvamento

No Protótipo 2, o nosso objetivo final seria criar 2 ou 3 hortas completas no seu tamanho real para poder testar a funcionalidade e encaixes do produto. Com o elevado preço da injeção, optamos por realizar os modelos em FDM. A impressora escolhida não tem um tabuleiro com capacidade para a impressão em escala, por isso foi decidido a impressão ser a metade da escala. Esta mudança na escala não permite ter um modelo real e não permite a que a interação com o ser humano seja 100% correta. Além disto, os horários de utilização das impressoras no Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) não permitiram imprimir mais que 1 protótipo. Assim, não conseguimos realizar o teste de empilhamento das hortas e realizar alguns testes de interação com o produto. Apesar não termos um cenário completamente real, conseguimos validar os encaixes do produto e, no fim, obtermos um produto com aspeto foto realístico.

Na realidade virtual, devido à falta de experiência na temática, não foi possível criar ambientes definidos e reais. Conseguimos, apenas, criar um fundo de cenário. Futuramente, seria pertinente investir mais tempo num ambiente 3D real, por exemplo um ambiente de habitação. A implementação de terra e plantas na realidade virtual permitiria, também, obter-se uma maior aproximação ao aspeto final. Por fim, a interação do utilizador com o produto pode ser realizada em realidade virtual, permitindo, assim, algumas ações através de gestos, como por exemplo, plantar, regar e empilhar os módulos consoante a vontade do mesmo.

Para trabalhos futuros, pretendem-se fazer testes usando o *Moldflow* que permite realizar uma análise da manufatura e identificar potenciais problemas na geometria da peça que possam resultar na ocorrência de erros. Por fim, estudar, ainda, o molde e os canais de entrada antes de se realizar a produção real do produto.

Gostaríamos também de agradecer aos docentes da Unidade Curricular de Técnicas de Prototipagem Rápida pelo apoio e pelas aulas práticas dinâmicas que favoreceram todo o processo de aprendizagem.

6. Bibliografia

- [1] TABELAS COM VALORES PARA APLICAÇÕES DE TERMOPLÁSTICOS - Molde Injeção Plásticos. (n.d.). Retrieved January 6, 2023, from <http://moldesinjecao plasticos.com.br/tabelas-com-valores-para-aplicacoes-de-plasticos/>
- [2] Olanrewaju, T. O., Idah, P. A., Osunde, Z. D., & Kovo, A. S. (2020). Design and development of a tomato-packaging container using Acrilonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) plastic sheets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 445(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/445/1/012008>
- [3] Sicweb Integra Tecnologia. (n.d.). Retrieved January 6, 2023, <http://www.integra center.com.br/>
- [4] Amran, M. A. M., Faizal, K. M., Salleh, M. S., Sulaiman, M. A., & Mohamad, E. (2015). Design consideration for design a flat and ring plastics part using SolidWorks software. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 100(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/100/1/012050>
- [5] Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143(February), 172–196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- [6] Savu, I. D., Savu, S. V., Simion, D., Sîrbu, N. A., Ciornei, M., & Ratiu, S. A. (2019). PP in 3D printing – Technical and economic aspects. *Materiale Plastice*, 50(4), 931–936. <https://doi.org/10.37358/mp.19.4.5286>

7. Anexo A: Propriedades do Material

Tabela 2: Propriedades do Polipropileno retiradas do Solidworks.

Módulo de Elasticidade	896	[MPa]
Coeficiente de <i>Poisson</i>	0,4103	[N/A]
Módulo de cisalhamento	315,8	[MPa]
Densidade	890	[kg/m3]
Tensão de Ruptura	27,6	[MPa]
Tensão de Cedência	35	[MPa]
Condutividade térmica	0,147	[W/(mK)]
Calor específico	1881	[J/(kg.K)]

8. Anexo B: Tabelas de parâmetros para impressão

Tabela 3: Parâmetros de impressão da Tampa.

Material	Preço - 2,40€/100g	100	[€/g]
Escala	2:1	50	[%]
Resolução	<i>Standard Quality</i>	0,3	[mm]
<i>Infill</i>	Preenchimento	20	[%]
Parede	Espessura	2,5	[mm]
Tempo de Impressão	14 h 40 min		

Tabela 4: Parâmetros de impressão do Vaso.

Material	Preço - 2,40€/100g	640	[€/g]
Escala	2:1	50	[%]
Resolução	<i>Standard Quality</i>	0,3	[mm]
<i>Infill</i>	Preenchimento	20	[%]
Parede	Espessura	2	[mm]
Tempo de Impressão	2 d 4 h 9 min		

9. Anexo C: Fotografias extra do Protótipo 2



10. Anexo D: Links para os vídeos de Realidade Virtual

https://uapt33090-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/gamboa_marques_ua_pt/ESP-hED4hx1DuNmE5ri2g-IBMGXOVQWAttDVogyPZZbUCg?e=QmG1Za

https://uapt33090-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/gamboa_marques_ua_pt/EXYYEMipdlNOhQKw8IC55sEBVQ830-2Yy_ISYUwwMG6yIQ?e=8cUA6G

11.Anexo E: Calendarização

		2022												2023
Meses		Outubro				Novembro				Dezembro				Janeiro
Semanas		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
FASE 0	Planeamento													
	Definição do Líder													
	Definição dos métodos de trabalho													
	Estudo do enunciado e escolha do projeto													
	Bibliografia aplicável													
	Estudo do protótipo V0													
	Discussão e planeamento do projeto													
	Orçamento													
	Apresentação Intermédia													
	Execução do Protótipo V0													
FASE 1	Protótipo V1													
	Modelação V1													
	Testes Mecânicos Virtuais 1													
	Testes Mecânicos Virtuais 2													
	Testes Mecânicos Virtuais 3													
	Análise de Resultados													
FASE 2	Protótipo V2													
	Modelação V2													
	Impressão 3D													
	Análise de Resultados													
	Realidade Virtual													
FASE 3	Entregas Finais													
	Relatório													
	Apresentação Final													

12. Anexo F: Revisão bibliográfica

12.1. Artigo 1 - Design and development of a tomato-packaging container using Acrilonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) plastic sheets

João Marques 98246

Questão Principal:

O principal assunto deste artigo é o desenvolvimento e teste de um recipiente de embalagem de tomate, feito de folha de plástico de (ABS), como solução para os desafios de transporte e acondicionamento de tomates em África. Os autores descrevem o processo de desenvolvimento e simulação do recipiente através de software CAD, executam cálculos de design e posteriormente testam efetivamente o recipiente quanto à sua resistência, durabilidade e capacidade de proteger os tomates durante o transporte e armazenamento.

Principais Conclusões:

Os autores concluem que o recipiente criado é uma alternativa viável aos cestos de tecido, que são atualmente usados neste tipo de países, visto que pode ajudar a reduzir as perdas pós-colheita e ao mesmo tempo aumentar a quantidade de alimento transportado.

Originalidade do artigo e qualidade científica:

No que toca a originalidade, o artigo reflete um estudo num país que se encontra em desenvolvimento, desta forma pode-se concluir que o estudo poderá ter uma contribuição positiva no país em conta, uma vez que não é hábito realizar este tipo de estudos nestes tipos de países.

Uma vez que o artigo menciona simulações numéricas, cálculos de design e testes físicos, de modo a obter conclusões pode-se verificar que foi aplicada uma metodologia e organização ao longo do desenvolvimento do artigo. Desta forma e devido à geral correta utilização das ferramentas, o artigo apresenta qualidade científica. Além disto, foram ainda apresentadas referências relativamente aos tomates e à sua qualidade e controlo, o que fundamenta todo o artigo e revela procura detalhada.

Suposições e a sua validade:

Uma das suposições escritas consiste no facto de o artigo considerar que o transporte, por via terrestre, demora um dia e meio a percorrer a Nigéria, desde o norte até ao sul, este valor tem por base uma referência de 1986, o que significa que corre o risco de estar desatualizada. Mais estradas podem ter sido desenvolvidas ao longo destes anos e por outro lado também podem ter sido deterioradas. Assim, consideramos este ponto questionável quanto à sua validade.

Deficiências nos argumentos fornecidos e contra argumentos:

Os autores fazem vários testes e cálculos numéricos ao recipiente, no entanto no caso dos cálculos de aerodinâmica apenas testam o recipiente para o caso de este estar cheio de tomates e não ser derrubado quando submetido a ventos de 56 km/h. O estudo não é válido por não representar o pior cenário possível, uma vez que nem sempre teremos os recipientes cheios de alimentos, é necessário testar estes para quando estiverem vazios. Assim, era possível garantir para todos os cenários da utilização que a força de arrasto não iria ser superior ao peso do recipiente.

Limitações e enviesamentos do estudo:

A primeira limitação conta com o facto de o recipiente apenas estar adaptado e pronto para ser preenchido com tomates e não testado a outros tipos de alimentos. Além disso, falta informação detalhada nas condições de fronteira das simulações previamente realizadas e os respetivos resultados. Por fim, o estudo poderia ser executado para outros países, também em desenvolvimento, noutras regiões africanas não ocidentais.

Relevância da investigação:

O artigo revela-se bastante interessante na medida em que apresenta uma melhoria a ser executada num país em desenvolvimento, na tentativa de contribuir assim para o avanço de várias comunidades, quer no aspeto económico quer no aspeto sustentável.

Enviesamento do grupo ao analisar o artigo:

Uma vez que o artigo apresenta um recipiente que partilha o mesmo tipo de material, que apresenta simulações semelhantes e que apresenta uma funcionalidade equivalente na medida em que o produto em causa também se pode empilhar sobre ele próprio, decidiu-se seguir com a utilização do mesmo para fundamentar e enriquecer todo o processo de prototipagem do Verde ao Cubo, revelando-se este bastante importante no desenvolvimento de todo o trabalho.

Escrita clara, objetiva e inequívoca:

A escrita do artigo apresenta-se clara e objetiva, no entanto a estrutura e esquema utilizados não são os melhores. Devido a não existir separação e diferenciação no tipo de letra e tamanho, por vezes fica confusa a leitura. Além disso, as imagens relativas ao resultado do teste de compressão apresentam fundo cinza, o que se revela como pouco profissionalismo. Podendo assim ser trabalhada a formatação do documento.

12.2. Artigo 2 - Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges

Luís Cantante 85022

Originalidade do artigo e qualidade científica:

O presente artigo teve como objetivo a criação de um documento base sob o qual futuras análises com focos mais detalhadas pudessem ser desenvolvidas. Na data de publicação o apesar do tema em estudo ter sido inovado em 1986, apenas em anos recentes é que as patentes expiraram permitindo assim o mais rápido desenvolvimento do tema, e, assim, não apresentava inúmeros artigos por onde se pudesse basear/fundamentar o desenvolvimento do artigo em estudo. Os autores desenvolvem em detalhe vários aspetos de impressão 3D, não se ficando apenas pelos aspetos mais usuais, mas sim analisando em detalhe os principais aspetos e métodos da altura. Podemos ver a importância e impacto causado pelo artigo na comunidade ao verificarmos que foi citado mais de 4500 vezes.

Questão Principal:

Fundamentos da impressão 3D. Durante o artigo são explicados os diversos métodos de impressão, materiais, assim como comparação entre estes, aplicações mais comuns e principais desafios de impressão 3D. Os autores não foram à procura de uma questão específica, mas sim em busca de fundamentos gerais relativos ao tema.

As conclusões gerais são apoiadas pela investigação descrita no documento:

Todo o artigo é acompanhado por mais de 300 referências. No final de cada capítulo os autores apresentam tabelas de comparação relativas aos subcapítulos anteriormente analisados.

Deficiências nos argumentos fornecidos e contra-argumentos:

O artigo não apresenta deficiências nos argumentos fornecidos uma vez que é uma compilação de informação toda ela baseada em inúmeros artigos referenciados. Assim, toda a comparação realizada pelos autores é puramente analítica e factual não tecendo espaço para erros ou falhas.

As limitações e enviesamentos do estudo descritos pelos investigadores, e limitações e enviesamentos não expressos no artigo:

Uma das principais limitações descritas pelos autores é o facto de só em tempos mais recentes é que foi passível o mais rápido desenvolvimento destas tecnologias, uma vez que se encontravam patenteadas, inibindo assim o desenvolvimento por terceiros.

O artigo foi desenvolvido em dezembro de 2017 e já novos avanços foram feitos na área, devido à abrangência do artigo, a sua revisão é necessária em ordem a manter a sua importância e atualidade.

Suposições (o que se assume como verdadeiro/facto) e a sua validade:

O artigo não faz suposições uma vez ser totalmente baseado em artigos factuais e de análise científica.

Escrita clara, objetiva e inequívoca:

Todo o artigo é escrito com linguagem clara, objetiva, inequívoca e científica.

Implicações e relevância da investigação para a sociedade:

Como já referido anteriormente o presente artigo é de elevada importância para o desenvolvimento de impressão 3D, uma vez que apresenta todos os fundamentos deste método. O elevado número de citações comprava este facto.

Enviesamento do grupo ao analisar o artigo:

O artigo em análise apresenta muito mais informação do que a necessária para o desenvolvimento do projeto, no entanto deu-nos a capacidade de perceber a verdadeira dimensão e desenvolvimento que a impressão aditiva tem, não só na indústria, mas como também no nosso dia a dia.

12.3. Artigo 3 - Design consideration for design a flat and ring plastics part using Solidworks software

Miguel Vieira, 92596

Questão Principal:

A principal questão de investigação deste artigo passa como desenhar uma peça de plástico para a moldação por injeção, utilizado o software *Solidworks*. Uma vez que as considerações de design para a manufatura (DFM) são aplicadas logo na fase inicial do projeto, artigo indica e lista de forma sequencial que comandos utilizar no *Solidworks* de como criar uma peça plástica com as devidas métricas a aplicar.

Principais Conclusões:

O artigo após explicar metodicamente as formas corretas de modelar a peça para injeção, conclui com a criação de um molde, com os respetivos canais de alimentação na peça. No fim é proposto em futuros estudos a investigação da linha de apartação, o ar que fica preso na peça e a dimensão geométrica geral do produto. O que demonstra que a peça ainda precisa de mais fases de desenvolvimento até ser produzida.

Originalidade do artigo e qualidade científica:

O desenho para fabrico ou (DFM) é crucial para o desenvolvimento de um produto. O seu desenvolvimento e projeto era realizado à algumas décadas à mão e com entrega posterior de documentos técnicos em papel. Com a implementação de sistemas CAD como o *Solidworks*, a metodologia de desenho é mudada. Este artigo documenta a metodologia utilizada desde o desenho à mão, ao desenho 2D, 3D e posteriormente de retificação e aprimoramento da geometria. Para além desta linha de pensamento, demonstra também as funções utilizadas no software para criar uma peça. O detalhamento destas fazes permite a uma aplicabilidade maior, que beneficiou o projeto e a modelação do Verde ao Cubo.

Suposições e a sua validade:

No final do artigo é proposto que sejam realizados estudos futuros sobre as fases seguintes de desenvolvimento do produto. Este artigo relata o desenvolvimento do CAD da peça de plástico e do seu molde. O autor supõe assim que o trabalho realizado até ali está totalmente correto, ou seja, a modelação executada está pronta para injeção, assim como não têm nenhum erro no molde. Isto pode não acontecer uma vez que são precisos realizar alguns testes como o *Draft Analyses* para verificar a modelação e mais testes posteriores como *moldflow*.

Deficiências nos argumentos fornecidos:

O autor modela a peça sem referir quais são as propriedades do material escolhido, nem qual será o seu ângulo de saída, espessura de parede entre outros... Sem esses dados, o argumento do autor é geral e não específico. Também não indica o *brief* do projeto nem qual será utilidade final da peça final.

Limitações e enviesamentos do estudo:

O estudo não apresenta dados sobre qual será o ângulo de saída preferencial consoante o plástico utilizado, nem sobre outras métricas. Estas recomendações ao serem fornecidas pelo autor, permitiriam uma pesquisa mais coesa e simplificada.

Relevância da investigação:

O artigo foi lançado em 2015 numa altura em que os sistemas CAD já estão bem enraizados na comunidade científica e na indústria. As normas de modelação que apresenta já são reconhecidas e estudadas décadas antes, no entanto a forma de resumo sumarizada neste artigo e a organização da metodologia permite a que um aluno tenha facilidade a recolher informação sobre desenho mecânico e possa aplicar as métricas no seu projeto quase como um tutorial.

Enviesamento do grupo ao analisar o artigo:

Este artigo foi crucial para a modelação do Verde ao Cubo desde o modelo inicial para a modelação para injeção de polímeros. É indicado no artigo considerações sobre a forma correta de projetar com ângulo de saída, de realizar cantos no produto e *ribs*. Estas técnicas são aplicadas depois na modelação do Verde ao Cubo de forma que não apresente posteriormente mudanças substanciais quando aplicado numa fase posterior como é o caso da moldação do molde.

Escrita clara, objetiva e inequívoca:

A escrita do autor é clara e objetiva, apresentado de forma detalhada a metodologia utilizada com recurso a infografia e posteriormente a imagens claras dos comandos de *SolidWorks* utilizados. No entanto nas conclusões não apresenta dados muito concretos, faltando uma melhor forma de resumir o alvo de investigação e que resultado final obteve.

12.4. Artigo 4 - PP in 3D Printing – Technical and Economic Aspects

Carolina Saraiva Neto 95130

Questão Principal:

Este artigo aborda um estudo acerca dos aspetos técnicos e económicos da impressão 3D, também conhecida como fabrico aditivo. De uma perspetiva técnica, os autores discutem os vários métodos e tecnologias utilizados na impressão 3D, incluindo *extrusion-based printing*, *powder bed printing*, e *vat polymerization*. Discutem também os fatores que influenciam a qualidade e o desempenho das peças impressas em 3D, tais como o tipo de material de impressão, a resolução e precisão da impressora, e o desenho do objeto a ser impresso.

De uma perspetiva económica, os autores discutem os potenciais benefícios da impressão em 3D para o fabrico, incluindo a capacidade de criar produtos personalizados, reduzir o custo de produção, e aumentar a eficiência e flexibilidade. Discutem também os potenciais desafios e limitações da impressão em 3D, incluindo o elevado custo inicial de aquisição de uma impressora e a gama limitada de materiais que podem ser utilizados.

Globalmente, o estudo fornece uma visão geral dos aspetos técnicos e económicos da impressão 3D, destacando tanto os potenciais benefícios como os desafios desta tecnologia na indústria transformadora.

Principais Conclusões:

O estudo centra-se na análise do comportamento do polipropileno (PP) durante o processo de impressão 3D utilizando a técnica de *Fused Deposition Modeling* (FDM). Os autores descobriram que o PP tem menor viscosidade e rigidez em comparação com o ácido polilático (PLA), que é o material mais comumente utilizado para a impressão FDM 3D. Concluiu-se, ainda, que o PP tem um maior fluxo de calor e requer menor energia de armazenamento, o que o torna mais fluído e mais fácil de deformar. O estudo sugere, também, que a redução da temperatura de extrusão em 4-5% pode ajudar a melhorar o controlo da forma do PP depositado pela impressão FDM 3D, o que pode permitir uma poupança de energia na impressão.

Suposições:

O estudo baseia-se nas seguintes suposições:

A impressão FDM 3D é uma tecnologia normalmente utilizada para a produção rápida de vários tipos de produtos, utilizando uma variedade de materiais em diferentes formas.

O PP tem características semelhantes ao PLA, o que o torna num potencial material para a impressão FDM 3D.

O comportamento do PP durante o ciclo de aquecimento específico do processo de impressão 3D pode ser analisado através da análise macroscópica e microscópica das cordas depositadas, análise térmica DSC, e medições de reologia de cisalhamento dinâmico.

O módulo de armazenamento, viscosidade complexa e viscosidade de alongamento do PP pode ser utilizado para avaliar o seu comportamento durante o processo de impressão 3D.

A redução da temperatura de extrusão em 4-5% pode melhorar o controlo da forma do PP depositado pela impressão 3D FDM e conduzir a poupanças de energia.

Limitações e enviesamentos do estudo:

O estudo centra-se apenas na utilização de PP na impressão FDM 3D, e não considera outras tecnologias de impressão 3D nem a utilização de outros materiais.

Analisa apenas o comportamento do PP durante o ciclo de aquecimento do processo de FDM, e não considera outras fases do processo ou as propriedades finais das peças impressas em 3D.

Compara apenas o comportamento do PP com o PLA, e não considera outros materiais que possam ser utilizados na impressão em 3D de FDM.

Analisa apenas o comportamento do PP a uma única temperatura (190oC) e sob uma única condição de carga (210 kN), e não considera os efeitos de outras temperaturas e condições de carga sobre o comportamento do material.

O artigo considera apenas o comportamento do PP sob a forma de filamento e material depositado, e não considera outras formas em que o material pode ser utilizado na impressão 3D FDM (por exemplo, pó, pool).

Considera apenas o comportamento do PP numa única frequência, e não considera os efeitos de outras frequências sobre o comportamento do material.

Apresenta apenas os resultados de um único conjunto de experiências, e não considera os efeitos de outros parâmetros (por exemplo, temperatura de extrusão, taxa de carga) sobre o comportamento do material.

Relevância da investigação:

Este artigo é relevante na medida em que visa analisar o comportamento do PP durante o ciclo de aquecimento específico da impressão FDM 3D (extrusão de um filamento termoplástico numa série de camadas sobre uma placa de construção para criar um objeto tridimensional), e compará-lo com o comportamento do PLA. Esta análise é útil para quem pretender utilizar o PP como material para a impressão FDM 3D, uma vez que proporciona uma visão das diferenças nas propriedades do PP e do PLA e dos potenciais efeitos no processo de deposição. Ao compreender estas diferenças, os utilizadores da tecnologia de impressão FDM 3D podem ser capazes de tomar decisões mais informadas sobre qual o material mais adequado para a sua aplicação específica. Além disso, os resultados deste estudo podem também ser úteis para investigadores e engenheiros que estão a trabalhar no desenvolvimento de novos materiais para utilização na impressão em FDM 3D.

Pertinência do artigo para o projeto:

Uma vez que o artigo analisa o comportamento do PP durante o ciclo de aquecimento específico da impressão FDM 3D, é-nos útil para o desenvolvimento do projeto na medida em que utilizamos o mesmo material e a mesma técnica de impressão. Permite-nos ter conhecimento das propriedades do PP e dos potenciais efeitos no processo de deposição.