



**Marcelo
Martins Domingues**

**Desenvolvimento e concepção de um sistema de
identificação e armazenamento de folículos capilares**



**Marcelo Martins
Domingues**

**Desenvolvimento e concepção de um sistema de
identificação e armazenamento de folículos capilares**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo, professor auxiliar com agregação à Universidade de Aveiro e Prof. Abílio Manuel Ribeiro Borges, Professore assistente convidado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

o júri / the jury

presidente / president

Prof. Doutor António Manuel de Amaral Monteiro Ramos

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Prof. Doutor José Luís Soares Esteves

Professor Auxiliar do Dep. de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo

Professor Auxiliar com agregação à Universidade de Aveiro

agradecimentos / acknowledgements

Trabalhar num tema relacionado com saúde sempre foi um objetivo desde que ingressei no curso de Engenharia Mecânica. Deste modo, quero começar por agradecer ao Professor Abílio Borges pela oportunidade que me proporcionou ao abordar um tema que pode vir a ser uma solução que ajudará milhares de pessoas no mundo inteiro. De igual modo, também quero agradecer ao Professor António Completo pelo auxílio e orientação no decorrer desta dissertação quem tornou possível o desenvolvimento do trabalho aqui apresentado. Também não podia deixar de agradecer à empresa *Atena,Lda* pela cooperação no fabrico do protótipo desenvolvido no projeto exposto nesta dissertação de mestrado.

Ao Engenheiro e amigo Ricardo Lourenço Jorge, agradeço a conversa encorajadora que ajudou de muitas formas a idealizar o conceito desenvolvido neste projeto. De igual modo, agradeço a todos os meus colegas e amigos que me encorajaram a continuar, apesar dos obstáculos encontrados no decorrer desta dissertação de mestrado. Em especial, quero agradecer ao João Regalado, Ruben Tocha e Tiago Simões por toda a força e apoio anímico dado para que a confiança e motivação para encontrar uma solução para o problema proposto não se esbatasse.

Por fim, agradeço aos meus pais por todo o apoio dado, certificando-se que em nenhum momento nada me faltava para completar este ciclo de estudos que agora finda. No entanto, quero enaltecer o sacrifício feito pelo meu pai, Alírio Domingues, que desde o início dos meus estudos, deixou o país em busca de melhores condições monetárias que permitiram que a minha formação académica fosse a melhor possível.

Resumo

Aceitável por uns, uma catástrofe para outros, a alopecia é uma doença capaz de arruinar o bem estar emocional de um grande número de pessoas, principalmente mulheres. Com tratamentos de baixa eficácia, muitas pessoas recorrem a procedimentos cirúrgicos para procurar atenuar as adversidades provenientes da doença.

Atualmente, existem variados métodos de tratamento desta doença, sendo os cirúrgicos os que têm dado melhores resultados aos seus pacientes. Apesar da grande maioria ser realizado com recurso a técnicas completamente manuais, começam a surgir os primeiros sistemas automatizados capazes de auxiliar o técnicos de saúde que realizam este tipo de procedimentos cirúrgicos. No entanto, a tecnologia aplicada a estes tratamentos ainda se encontra numa fase de maturação, não existindo nenhum sistema completamente autónomo de seja capaz de realizar um procedimento de transplantes capilares.

Numa perspetiva de procurar dar algum avanço tecnológico neste campo, foi proposto ao aluno o desenvolver e validar um sistema de armazenamento para receber, acolher, enviar e catalogar os folículos pilosos que possa vir a ser adaptável, futuramente, a um sistema robotizado ou a uma ferramenta semi-automática de transplantes capilares .

Nesta dissertação foram explorados dois conceitos, idealizados pelo autor, sendo que o selecionado, foi desenvolvido e testado. Da análise inicial para o desenvolvimento passou-se por várias fases, desde a identificação dos requisitos dos clientes e do sistema, passando pela hierarquização dos mesmos com o auxílio de ferramentas como os diagramas de *Murge* e *Kano* até ao estudo dos conceitos que foram idealizados para solucionar o problema.

O conceito que foi selecionado, que consiste num disco com cavidades de geometria capaz de acolher os folículos, foi testado e aprimorado, até chegar à solução final apresentada neste documento.

Nesta solução final, também consta um sistema de visão capaz de catalogar os folículos pilosos recebidos pelo sistema de armazenamento onde se identificam o número de raízes em cada folículo piloso.

Abstract

Nowadays, there are plenty of treatments methods for this disease, being the surgical with the best results for the patients. Although the majority of the procedures is performed with manual technics, they started to appear the first automated systems capable of work with the health technicians that perform this surgical procedures. However, the technology used on this treatments is still in initial state, not existing any autonomous system capable of performing a hair transplant.

Looking for a new technologic progress on this field, the writer of this document was challenged to develop and validate a store system to receive, store, send and analyse hair follicles that can be adaptable, in the future, to a robotic system or to a semi-automated tool for hair transplants.

On this document, two idealized concepts, by the author, were explored being the selected one developed and tested. From the initial analyses to the final product, different steps were taken, starting from the identification and hierarquisation of the client requisites using tools like the MURGE and KANO diagrams to the concept studies that were idealized to solve the problem.

The selected concept, which consists on a disc with some cavities with a geometry able to store the follicles, was tested and improved until the final solution presented on this document was archived.

On this final solution, it's included a vision system capable of analyse the hair follicles and count the number of hair roots in every follicle stored by the system.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivo	1
1.3 Motivação	2
1.4 Organização	2
2 Estado da Arte da Transplantação Capilar	3
2.1 Diferentes tipos de alopecias	3
2.1.1 Alopecias de causas genéticas	4
2.1.2 Alopecias adquiridas	5
2.2 Anatomia do couro cabeludo	6
2.3 Descrição das Técnicas	8
2.4 Técnicas de Extração	8
2.4.1 FUT- Transplante de Unidade Folicular	8
2.4.2 FUE - Extração de Unidade Folicular	9
2.5 Técnica de implante	11
2.6 Clonagem Capilar	11
2.7 Sistemas/dispositivos Comerciais	11
2.7.1 NEOGraft	12
2.7.2 ARTAS	12
2.8 Impacto social e na saúde pública	13
3 Desenvolvimento de um sistema de Acumulação e Tipificação dos Folículos	15
3.1 Identificação das necessidades	15
3.2 Identificação das especificações técnicas	19
3.3 Matriz QFD	20
3.4 Geração e seleção de conceitos	23
3.4.1 Geração do conceito	24
3.4.2 Seleção do conceito	29
3.5 Modelação 3D	30
3.5.1 Princípios gerais de montagem	31

3.5.2	Posição de funcionamento	31
3.6	Protótipo	31
3.7	Validação do conceito e processo de melhoramento do protótipo	33
3.7.1	Primeira experiência	33
3.7.2	Segunda experiência	35
3.7.3	Descrição do processo de fabrico	40
3.7.4	Ensaio finais de Extração, acumulação e envio	42
3.7.5	Ensaio de identificação do n.º de pêlos/folículos	49
4	Projeto mecânico	54
4.1	Módulo de armazenamento	55
4.2	Módulo de rotação do eixo principal e suporte do sistema	58
4.3	Sistema de Vácuo	61
5	Desenvolvimento de Algoritmo de identificação de pelos/folículos	63
5.1	Metodologia e desenvolvimento da rotina	63
5.1.1	Introdução ao HSV	64
5.1.2	Desenvolvimento da rotina	65
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	69
6.1	Conclusões e Considerações	69
6.2	Trabalhos Futuros	70
	Bibliografia	71
	A Desenhos técnicos	74
	B Rotina <i>imanalazer</i>	105

Lista de Figuras

2.1	Fases de crescimento do pêlo	3
2.2	Alopécia Androgenética	4
2.3	Estrutura vascular do Couro Cabeludo. St.a,v. = a. e v. supratroclear; Sc.a.,v. = a. e v. supra-orbital; S.t.a,v. = a. e v. Superficial temporal; P.b.= Ramo parietal; F.b. = ramo frontal; Pa.a.,v.= a. e v. auricular posterior; Occ.a,v.= a. e v. occipital; E.c.a = artéria carótida externa; A.a.,v. = a. e v. auricular anterior; I.j.v. = veia jugular interna.	6
2.4	Estrutura nervosa do Couro Cabeludo. So.n = nervo supra-orbital; St.n = nervo supratroclear;Zt.b.z.n = ramo zigomático-temporal do nervo zigomático; At.n. = nervo aurículo-temporal; T.b.t.n. = ramo temporal do nervo facial; G.a.n = nervo auricular maior; L.o.n = nervo occipital menor; G.o.n. = nervo occipital maior; P.a.n. = nervo auricular posterior.	6
2.5	Vista ao microscópio da estrutura da pele	7
2.6	Constituição da pele	7
2.7	Tiras de couro cabeludo retiradas da cabeça de um paciente	9
2.8	Cicatriz após um tratamento com extração FUT	9
2.9	Método de Extração de Unidade Folicular	9
2.10	Área doadora após 7 dias do procedimento cirúrgico	10
2.11	Método de Implante folicular	11
2.12	Utilização do NEOGraft na extração	12
2.13	Utilização do NEOGraft no implante	12
2.14	Robo ARTAS	13
3.1	Evolução das alterações no <i>design</i> entre as empresas que utilizam o QFD e as que não utilizam	20
3.2	Esquema de funcionamento da Unidade de visão	24
3.3	<i>Design</i> da superfície do tapete rolante	25
3.4	Modelo de armazém atual sem tampa	27
3.5	Proposta de ideia de armazém interno à ferramenta	27
3.6	Disco do armazém	29
3.7	Primeiro protótipo desenvolvido	31
3.8	Primeiro disco a ser testado	32
3.9	Adaptador pneumático	32
3.10	Geometria do disco utilizado no primeiro teste	33
3.11	Componentes utilizados nos testes	34
3.12	Aparelho de Venturi	34

3.13	Disco de armazenagem	34
3.14	Montagem	35
3.15	Disco do segundo ensaio	36
3.16	Geometria A	37
3.17	Geometria B	37
3.18	Geometria C	38
3.19	Geometria D	38
3.20	Geometria E	38
3.21	Geometria F	39
3.22	CAD do recipiente sem o vidro	39
3.23	Peças em acrílico	40
3.24	2D para a máquina de corte a laser	41
3.25	Vidro com película hidrofóbica	41
3.26	Cavidades após erro de maquinação	42
3.27	Disco final maquinado	43
3.28	Disposição do armazém e iluminação de testes do protótipo	43
3.29	Resultado de teste da cavidade A	44
3.30	Resultado de teste da cavidade B	44
3.31	Folículo com camada de gordura adiposa agregada	45
3.32	Resultado de teste da cavidade B.1	45
3.33	Resultado de teste da cavidade C	46
3.34	Resultado de teste da cavidade D	46
3.35	Resultado de teste da cavidade E	47
3.36	Vista de topo do folículo na cavidade B.1 após o envio do folículo B	48
3.37	Resultado dos frames retirados de uma filmagem a 240 fps	48
3.38	câmara microscópica (<i>50-500X 0.3MP Digital USB</i>)	49
3.39	Análise e resultado do tratamento de imagem a um folículo de 3 raízes	51
3.40	Análise e resultado do tratamento de imagem a um folículo de 2 raízes	51
3.41	Análise e resultado do tratamento de imagem a um folículo de 3 raízes	52
3.42	Folículo de uma raiz	52
4.1	Render da proposta de produto final	54
4.2	Módulo de armazenamento	55
4.3	Desenho de montagem	57
4.4	Desenho de conjunto do suporte	58
4.5	Vista de trás	60
4.6	Desenho de montagem do suporte e motor de passo	61
4.7	Desenho de montagem do suporte	61
4.8	Desenho de montagem	62
5.1	Comparação de RGB e HSV	64
5.2	Representação do HSV	64
5.3	Visualização das diferentes componentes do HSV	65
5.4	Resultado da filtragem de um folículo de 3 raízes	67

Lista de Tabelas

3.1	Critério de Murge aplicado às características requeridas pelo cliente	17
3.2	Critério de Kano	18
3.3	Aplicação do Critério de Kano ao Produto	18
3.4	Avaliação do grau de importância dos requisitos do cliente	21
3.5	QFD do sistema de armazenamento	22
3.6	Unidade de visão com tapete rolante Vs. Unidade de visão rotacional	29
4.1	Lista de componentes do módulo de armazenamento	56
4.2	Lista de componentes do suporte e módulo rotação	59
5.1	Resultado da análise do <i>Excel</i> Parte 1	67
5.2	Resultado da análise do <i>Excel</i> Parte 2	67

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

Numa sociedade onde a imagem tem cada vez mais um papel de importância na afirmação a nível social, doenças como a alopecia, mais conhecida como calvície, são um tormento às pessoas de todo o mundo. Contudo, existem vários métodos para o tratamento, desde loções de crescimento capilar a cirurgias de transplante capilar.

No campo cirúrgico, variadíssimos métodos de realizar uma cirurgia para corrigir este problema foram e estão a ser desenvolvidos. Uns mais agressivos que outros, variando o período de recobro e as cicatrizes deixadas pelos métodos de extração foliculares. No entanto estes métodos até agora desenvolvidos são demorados e suscetíveis de erros humanos que podem reduzir a eficiência do tratamento administrado. Várias empresas começaram a surgir com soluções automatizadas com capacidade de recriar pequenas partes dos procedimentos cirúrgicos, melhorando a qualidade do resultado final, bem como uma redução do tempo de cirurgia e de tratamento.

Até ao momento, existem algumas soluções para facilitar o trabalho dos profissionais de saúde como o ARTAS (Secção 2.7.2), um robô que ao perfurar a pele, faz com que folículos pilosos sejam impelidos para a superfície do couro cabeludo reduzindo o tempo total de cirurgia, bem como o aumento da qualidade dos folículos extraídos. No entanto, o mercado conta com poucas soluções semelhantes e nenhuma, até à data de escrita deste documento, capaz de realizar o procedimento cirúrgico completo, isto é, extração e implante.

1.2 Objetivo

O objetivo do trabalho visa o desenvolvimento, conceção e projeto de um sistema de armazenamento de folículos capilares, de baixo custo, capaz de os acolher, enviar e catalogar, com recurso a um sistema de visão. Além da funcionalidade e sustentabilidade este sistema deve exibir capacidades adicionais que o tornem mais atrativa relativamente aos atualmente disponíveis no mercado.

A solução deve ser capaz de ser adaptado a um sistema de extração folicular **FUE** (Secção

2.4.2) com auxílio de um sistema de vácuo. Para além de possuir uma vertente mecânica, capaz de movimentar os folículos (receção e envio) e acolhe-los, também deve possuir uma vertente de automação. Na vertente de automação, também deve constar um sistema de análise de visão capaz de contabilizar o número de raízes que cada folículo possui.

1.3 Motivação

A ideia de desenvolver uma solução inexistente até ao momento, solucionando um problema real relacionado com problemas de saúde aliada à engenharia mecânica, é algo que motivou fortemente a aceitação deste projeto. Desde cedo, sempre rodeado de profissionais de saúde, o autor desta documento sempre teve um fascínio pela medicina, sendo que um dos grande objetivos de realização pessoal, é solucionar um problema a nível médico que atormente um grande elevado número de pessoas no mundo. A possibilidade de aliar a medicina ao campo atual de estudos, engenharia mecânica, foi algo motivador para levar este projeto até ao fim apesar de todas as adversidades que surgiram do decorrer deste trabalho.

1.4 Organização

O presente documento encontra-se organizado de forma a seguir uma linha de trabalho temporal. Inicialmente (segundo capítulo), foi feito um estudo fisiopatológico sobre a doença onde também se determinaram as consequências sociais da doença em questão, bem como uma análise dos tratamentos já existentes para combater este problema. De seguida, no terceiro capítulo, é apresentada uma solução para o tema da dissertação, bem como todo o desenvolvimento, desde a identificação das especificações técnicas e requisitos dos pacientes até aos resultados finais que sustentam a viabilidade da solução apresentada.

No quarto capítulo será apresentada uma proposta de produto final que respeita os requisitos técnicos identificados no terceiro capítulo. Numa vertente mais de *software*, no quinto capítulo, é apresentado todo o código desenvolvido para uma análise das amostras, através de um sistema de visão, a ser incorporado no protótipo.

Por fim, no sexto capítulo serão apresentadas as conclusões sobre todo este tema, bem como serão sugeridos trabalhos futuros para a continuidade do desenvolvimento da solução.

Capítulo 2

Estado da Arte da Transplantação Capilar

Este capítulo, visa fazer um enquadramento fisiopatológico a nível do problema que a solução a ser desenvolvida pretende ajudar a tratar, bem como os métodos e sistemas atualmente existentes. Este enquadramento também contém uma vertente psicológica, visto que um dos efeitos adversos da doença, é alteração do equilíbrio mental dos pacientes.

2.1 Diferentes tipos de alopecias

A alopecia, mais conhecida como calvície, é a redução parcial ou total de pêlos ou cabelos em determinadas áreas da pele independente da causa determinante (genética ou influencias variadas que ocorrem durante a vida).

Os pêlos em geral, e os cabelos em particular, são estruturas com dinâmica especial, de crescimento em ciclos evolutivos, constituídos por um período ativo de desenvolvimento folícular (anagénesis), seguido de interrupção do crescimento e evolução (catagénesis), finalizando com a fase de repouso que dura aproximadamente dois a três meses, findos os quais os cabelos começam a cair, empurrados por novos cabelos em crescimento (Telogénese). (Figura 2.1)[1]

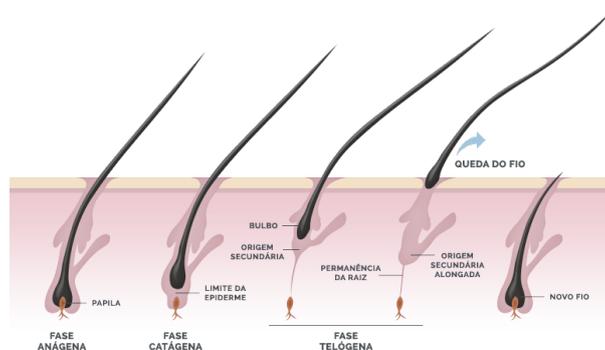


Figura 2.1: Fases de crescimento do pêlo

Os ciclos evolutivos referidos são influenciados por fatores diversos, endógenos e exógenos, onde se destacam, nos primeiros, os genéticos e hormonais, que condicionam o tipo individual de revestimento capilar e as variações que neste se observam. Nos segundos, as agressões externas como queimaduras e radiações. A influência das hormonas androgénicas é particularmente relevante, diminuindo a duração da anagénes e condicionando deste modo um dos mais comuns tipos de alopecia: **alopecia androgénica**. (Figura 2.2)

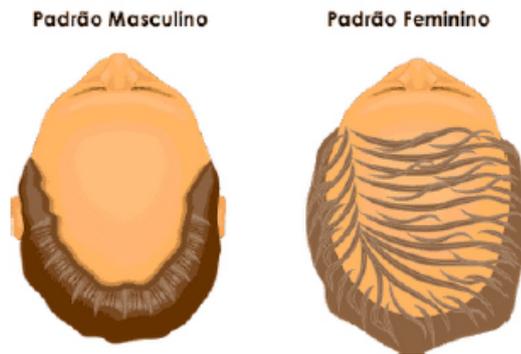


Figura 2.2: Alopecia Androgénica

2.1.1 Alopecias de causas genéticas

As alopecias de causas genéticas, denominadas de androgénicas, são muito raras e manifestam-se por ausência total ou parcial da pilosidade.[2]

Muitos homens interpretam como prova irrefutável da sua “condenação” a serem calvos, terem o pai e o avô com a mesma patologia. Mas quando se trata de determinar as causas e origens da alopecia hereditária, há outros fatores genéticos a ter em conta e muitos deles não são conhecidos. É o caso do importante papel desempenhado pelo cromossoma X, que está ligado ao gene recetor de andrógenos (determinantes para o desenvolvimento da calvície). Este cromossoma é hereditário, mas não por via paterna, faz parte da herança da mãe. Para prever a calvície futura, não basta ter em conta o facto do pai sofrer alopecia, mas neste sentido, o avô materno é também um importante ponto de referência.

No entanto, a mera observação familiar não é uma técnica de peso para determinar o grau de probabilidade de se ficar calvo, tratando-se sobretudo de um exercício de orientação. As alterações genéticas relacionadas com a calvície não se caracterizam por critérios fixos, de facto, as que afetam o gene do recetor androgénico, artífice da alopecia, não se produzem de acordo com um padrão standard: por vezes ocorrem sem interrupção, passando de um membro da família para o seguinte, e outras vezes podem saltar várias gerações.

Felizmente, há métodos, científicos que permitem determinar com certeza (e não com conjeturas ou cálculos baseados na simples observação) a possibilidade real de se ficar calvo e que, além disso, constituem um excelente instrumento para saber como prevenir a alopecia

e adotar as estratégias adequadas para prever o seu aparecimento. Um deles é o teste de alopecia, um exame genético de alopecia androgenética para homens e de sensibilidade aos andrógenos para mulheres. Esta prova genética permite, através de uma amostra de ADN, saber de forma precisa, a maior ou menor predisposição para sofrer alopecia androgenética. Depois da obtenção da amostra, esta é enviada para um laboratório, no qual é sujeita a uma análise destinada a conhecer a fundo as características capilares e os fatores concretos envolvidos na alopecia androgenética, como por exemplo alterações no gene dos recetores de andrógenos. Sabe-se que os andrógenos estão diretamente envolvidos na queda do cabelo das mulheres.[3]

2.1.2 Alopecias adquiridas

Nas alopecias adquiridas consideram-se as que são devidas a fenómenos de agressão endógena sobre o cabelo - por exemplo reação auto-imune, como sucede na **alopecia areata**, ou fenómenos de agressão exógena - por infeção, por ações traumáticas físicas (térmicas, radiações ionizantes) ou químicas (cáustico).

No que respeita à dinâmica de acentuação pilar em fase de queda de cabelo, interessa distinguir a resultante da paragem do crescimento pilar em fase anagénica ou em fase telogénica.

As alopecias adquiridas do tipo anagénico - **eflúvio anagénico**, surgem em consequência de uma ação brusca sobre a fase de crescimento capilar com queda súbita subsequente dos pêlos. Como exemplo tem-se a quimioterapia citostática, as intoxicações e alguns tipos de envenenamentos.

Nas alopecias adquiridas do tipo telogénico - **eflúvio telogénico**, os cabelos interrompem o desenvolvimento em fase telogénica, levando a uma perda lenta e progressiva de pêlo. São do tipo telogénico:

- A alopecia androgenética masculina e feminina, a que se verifica em doenças febris, especialmente infecciosas;
- Em doenças gerais como no hipotiroidismo;
- No pós-parto;
- Na administração de medicamentos diversos - anticoagulantes, antilipidémicos, betabloqueantes, retinóides, antitiroideos e hormonas, em particular androgénicas;
- São ainda eflúvios telogénicos os que resultam de défice de ferro, biotina, zinco, ou por défices alimentares, inclusive dietas hipocalóricas;
- A alopecia seborreica, a qual se observa frequentemente associada à alopecia androgenética e se integra no conceito de seborreia e dermite seborreica, onde a estimulação androgénica atua em simultâneo sobre o pêlo e sobre a glândula sebácea. Este fenómeno ocorre devido ao excesso de sebo existente no couro cabeludo, o qual interfere diretamente com o ciclo vital do folículo piloso, impedindo o crescimento do cabelo.

Contudo falta ainda referir as alopecias adquiridas que são estabelecidas por ação destrutiva direta e com consequente desaparecimento definitivo dos folículos piloso - por queimaduras térmicas ou químicas ou integradas em doenças gerais ou dermatológicas muito diversas.[4]

2.2 Anatomia do couro cabeludo

O Couro cabeludo, também conhecido como escalpo, é o nome científico dado à pele que reveste o crânio do ser humano e que possui cabelo. Esta, diferencia-se das restantes peles, na anatomia humana, por possuir uma grande rede nervosa e uma estrutura muito vascularizada, formada por uma enorme ramificação de vasos sanguíneos e nervos, tratando-se assim de uma área bastante sensível tal como é possível observar nas figuras 2.3 e 2.4.

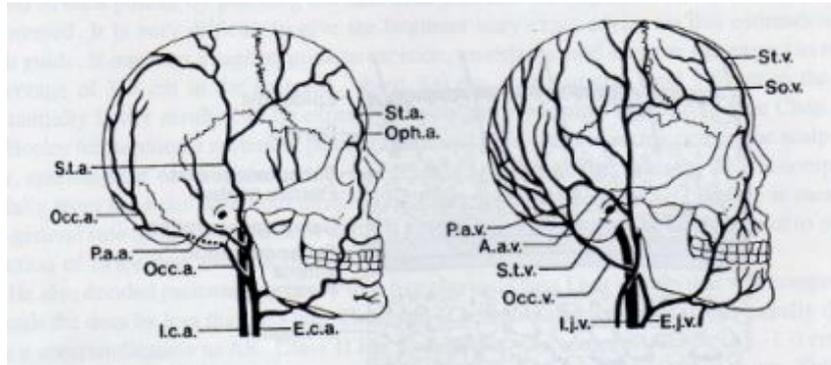


Figura 2.3: Estrutura vascular do Couro Cabeludo. St.a,v. = a. e v. supratrociliar; Sc.a.,v. = a. e v. supra-orbital; S.t.a,v. = a. e v. Superficial temporal; P.b.= Ramo parietal; F.b. = ramo frontal; Pa.a.,v.= a. e v. auricular posterior; Occ.a,v.= a. e v. occipital; E.c.a = artéria carótida externa; A.a.,v. = a. e v. auricular anterior; I.j.v. = veia jugular interna.

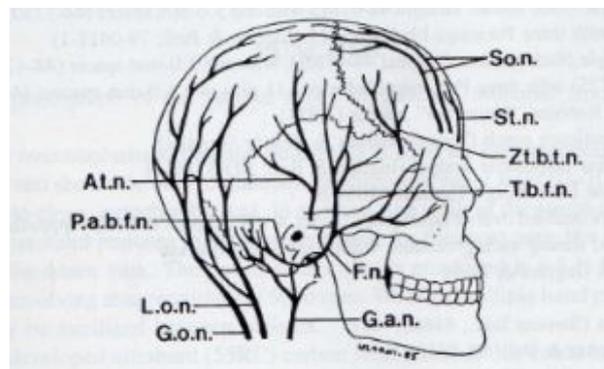


Figura 2.4: Estrutura nervosa do Couro Cabeludo. So.n = nervo supra-orbital; St.n = nervo supratrociliar; Zt.b.z.n = ramo zigomático-temporal do nervo zigomático; At.n. = nervo aurículo-temporal; T.b.t.n. = ramo temporal do nervo facial; G.a.n = nervo auricular maior; L.o.n = nervo occipital menor; G.o.n. = nervo occipital maior; P.a.n. = nervo auricular posterior.

Ao analisar pormenorizadamente a superfície do couro cabeludo (Figura 2.5) pode-se subdividi-lo em várias camadas:

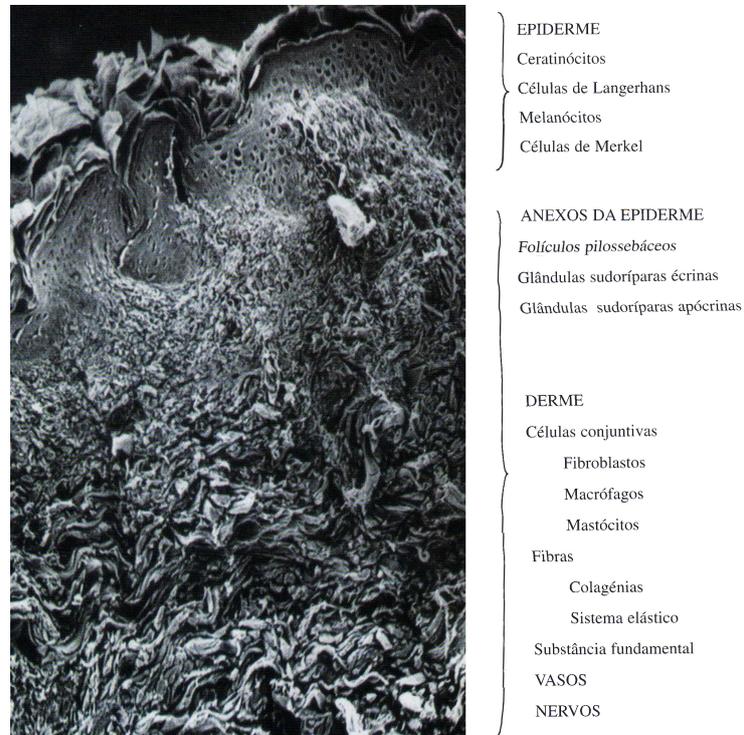


Figura 2.5: Vista ao microscópio da estrutura da pele

- A pele (derme e epiderme) é uma camada de aproximadamente 7 milímetros de espessura na área occipital. (Figura 2.6)

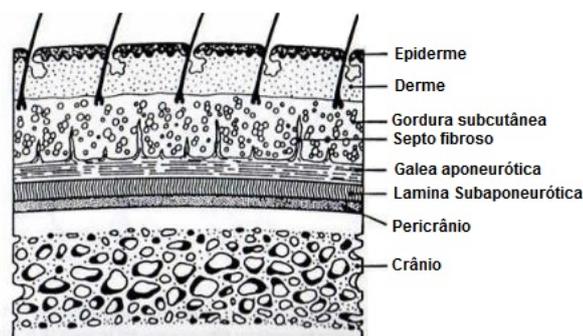


Figura 2.6: Constituição da pele

- Camada subcutânea constituída por matéria adiposa e fibras ligando firmemente a pele à apneurose galeal subjacente. É nesta espaço que as principais artérias, veias, vasos linfáticos e nervos estão presentes.

- A apneurose galeal recobre a fascia do músculo occipito frontalis, unindo as suas duas componentes, frontal e occipital respectivamente.
- A camada subepicranial ou subgaleal é um tecido que conecta o pericrânio inferior e o epicrânio superior. É nesta fina camada, praticamente avascularizada que, normalmente, se sofre lesões, sendo desta forma, a camada mais fragil de todo o sistema anatómico do couro cabeludo.
- O pericrânio é a camada que antecede o osso do crânio, sendo a camada mais profunda do couro cabeludo. Esta encontra-se ligada ao crânio mas pode ser, acidentalmente, desconectada do mesmo por via de cirurgia ou por ações exógenas. Esta, pode ser regenerada caso a área afetada seja abrangida por tecido vascular. [4]

2.3 Descrição das Técnicas

Para o tratamento da alopecia, desde muito cedo foram desenvolvidas várias técnicas para proporcionar um crescimento definitivo do cabelo. Inicialmente, os métodos eram muito evasivos, sendo que ainda nos dias de hoje são aplicados, estando em decréscimo a quantidade de profissionais de saúde que os continuam a usar. No entanto, outros métodos menos evasivos surgiram, o que melhorou o tanto o aspeto visual resultante para o paciente, bem como uma diminuição do período de recobro após a aplicação das técnicas.

2.4 Técnicas de Extração

2.4.1 FUT- Transplante de Unidade Folicular

Um dos métodos mais evásivos para o tratamento da alopecia é o **Transplante de Unidade Folicular** (*FUT - Follicular Unit Transplant*), que tem vindo a perder a sua popularidade devido à mais dolorosa e demorada recuperação, quando comparado com outros procedimentos. Este procedimento foi inicialmente descrito em 1984 pelo Patologista Dr. John Headington, [5] sendo a técnica de isolamento de unidades foliculares usando o microscópio posteriormente publicada em 1994. [6]

O termo "Unidade folicular" (*follicular unit*) foi introduzido na literatura de transplantes capilares em 1995 pelos Drs. Robert Bernstein e Wiliam Rassman. [7] Neste artigo, é proposto que todo o procedimento cirúrgico deve ser executado recorrendo apenas a pequenas unidades foliculares em pequenos grupos de cabelos naturais. Nas publicações que se seguiram, os mesmos ofereceram diretrizes de como realizar alguma técnicas que seriam as melhores para maximizar os resultados a longo prazo. No artigo "*Standardizing the Classification and Description of a Follicular Unit Transplantation*" Dr. Berstein e o seu colega introduziram formalmente o nome do procedimento para **Transplante de Unidade Folicular - FUT - Follicular Unit Transplantation** [8]

Neste método, é extraída uma faixa do couro cabeludo de uma área saudável, maioritariamente da parte da nuca (Figura 2.7), recorrendo a um bisturi. Esta faixa é, depois analisada com o auxílio de microscópios onde é dividida em unidades foliculares de um, dois, três ou quatro pêlos que serão implantados na área afetada. A área de incisão é suturada para que



Figura 2.7: Tiras de couro cabeludo retiradas da cabeça de um paciente

seja concedido um suporte à cicatrização dos tecidos, o que leva ao aparecimento de uma cicatriz (Figura 2.8) que será coberta assim que o cabelo crescer.



Figura 2.8: Cicatriz após um tratamento com extração FUT

2.4.2 FUE - Extração de Unidade Folicular

Com o aparecimento da FUE - (*Follicular Unit Extraction*) o "sonho" de um procedimento cirúrgico sem cicatriz visível começou a tornar-se real. Com esta técnica os enxertos de pele são extraídos como unidades foliculares individuais em três etapas (Figura 2.9):

- Perfuração da pele num movimento rotativo e paralelo ao pêlo com o *punch* ;
- Subida do *punch* em rotação;
- Com uma pinça, retirar o folículo da pele para posterior análise no microscópio.

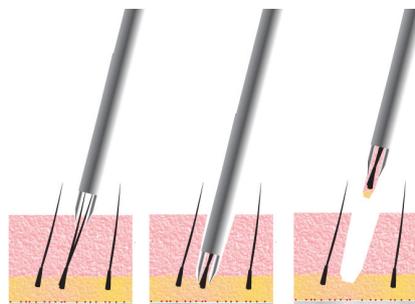


Figura 2.9: Método de Extração de Unidade Folicular

O princípio base deste método assume que a área ao redor do músculo eretor da unidade folicular é de aproximadamente zero milímetros. Uma vez que o folículo é solto e separado da derme circundante, é facilmente extraído. Sendo que o folículo é mais estreito na superfície, é necessário utilizar pequenos *punchs* de tamanho 0.6 mm a 1 mm e, por conseguinte, a cicatriz resultante é demasiado pequena para ser notada (Figura 2.10).



Figura 2.10: Área doadora após 7 dias do procedimento cirúrgico

No caso de a ferramenta que tem o *punch* possuir um sistema de vácuo, a quando a retirada do *punch* da pele, o folículo é retirado sem ser necessário o uso de pinças.

FUT Vs. FUE

Para que se possa fazer uma análise correta destas técnicas, convém realizar-se uma comparação para aferir as vantagens e desvantagens da aplicação de cada técnica.

A **FUT** costuma ser mais barato, rendendo mais unidades foliculares. Esta é ideal para abranger maiores áreas carentes de pêlo e o risco de danificar os folículos é reduzido. Por outro lado, é um método mais invasivo com uma recuperação mais demorada e penosa, tendo como única área doadora viável a cabeça, sendo apenas possível realizar se o paciente possuir uma boa flexibilidade do couro cabeludo. A cicatriz é linear, mais aparente e pode ser alargada caso o processo de cicatrização não seja concluído com sucesso, o que leva a uma inibição da prática de exercício físico ou outras práticas que deixem sob tensão o couro cabeludo durante cerca de 10 meses após a cirurgia para que a área afetada possa recuperar totalmente. Durante a incisão, alguns folículos da área circundante serão danificados e os que se encontrarem na fase telógena poderão cair.

O método **FUE**, é menos invasivo, com uma recuperação mais rápida sem precisar de sutura. A utilização de folículos de outras partes do corpo é permitida, tais como sobrancelhas, barba ou de outras áreas para o couro cabeludo. As cicatrizes são facilmente camufláveis o que leva a uma inibição de esforços de poucos dias. É uma boa opção para pacientes com pouca flexibilidade no couro cabeludo. Mas, tal como a técnica anteriormente descrita, também tem os seus contras. O elevado preço, menos unidades foliculares transplantadas por sessão e um decréscimo instantâneo da densidade folicular na área doadora são algumas dos contras do

método FUE.

2.5 Técnica de implante

Para o implante, o método mais comum é usando uma caneta de implante (ex: *Choi Implanter Pen* [9], sendo este um dos primeiros modelos a ser fabricados - *Figura 2.11a*), onde o folículo é colocado na extremidade da caneta de implante que é inserida num orifício na pele do couro cabeludo (*Figura 2.11b e 2.11c*), previamente aberto com uma agulha, depositando o folículo na zona pretendida. Atualmente, este processo permite a implantação de um folículo de cada vez, sendo o mesmo necessário de ser inserido manualmente na caneta.

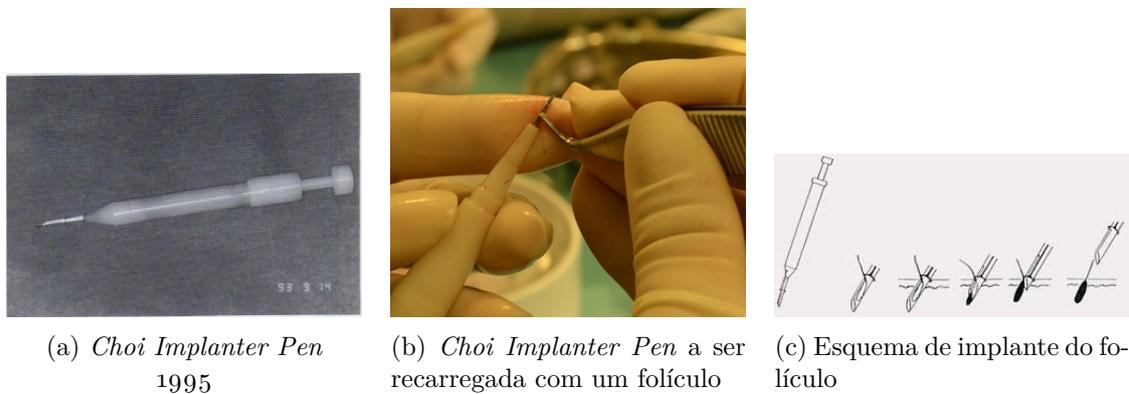


Figura 2.11: Método de Implante folicular

2.6 Clonagem Capilar

A clonagem capilar foi inicialmente testada, com sucesso, em 1970 num estudo realizado em ratos de laboratório. Foi possível provar que com esta técnica, o cabelo crescia saudavelmente em áreas afetadas pela alopecia, no entanto em humanos poucos progressos foram feitos. No entanto, existem varias instituições a fazer investigação na área para tentar corrigir erros e desenvolverem uma solução funcional. Como exemplos temos o *Instituto de Pesquisa Aderans*, *Universidade Técnica de Berlim*, *Universidade da Pensilvânia*, *Universidade de Durham* e *RepliCel Life Sciences* em Vancôver.

2.7 Sistemas/dispositivos Comerciais

Atualmente, existem vários sistemas a serem comercializados, sendo que a grande maioria deles são aplicações da técnica FUE em que o sistema de manipulação do folículo ou a aresta de corte do *punch* são diferentes. No entanto o conceito base é sempre o mesmo. Deste modo, serão analisados os sistemas, semi-automáticos de transplante capilares mais relevantes no mercado atual. Convém no entanto realçar, que atualmente, não existe nenhum sistema de transplantes capilares totalmente automático.

2.7.1 NEOGraft

O NEOGraft é um dos muitos exemplos de processos semi-automatizados de transplante capilar baseado na metodologia FUE aumentando a precisão e velocidade quando comparado com os métodos totalmente manuais.



Figura 2.12: Utilização do NEOGraft na extração

O NEOGraft é controlado por pressão pneumática para extrair o folículo cuidadosamente sem o danificar. Por a extração ser rápida, os folículos estão exposto ao meio ambiente durante um menor período de tempo sendo re-implantados mais cedo, mantendo-os mais robustos, sem que estes sequem, e com uma aparência mais fina (Figura 2.12).

A implantação é feita invertendo a direção do fluxo de ar, para que o folículo seja introduzido num orifício previamente aberto com o auxílio de uma agulha no couro cabeludo (Figura 2.13).



Figura 2.13: Utilização do NEOGraft no implante

2.7.2 ARTAS

Na aplicação de robótica no tratamento de pacientes com alopecia, a técnica a ser usada é a FUE em que a extração do folículo é feita por um robô. Este sistema apenas ajuda na extração dos folículos, sendo que todo o restante procedimento é realizado de forma manual.

Neste processo, o robô em questão (*ARTAS*) insere o *punch* no local de extração e retira-o de seguida. Devido à tensão da pele, o folículo eleva-se sendo necessário um profissional de

saúde encarregado da recolha, retirar o folículo com o auxílio de uma pinça para posterior análise. Esta ação do robô é controlada por um operador com o auxílio de um sistema de visão que identifica os folículos e direciona a ferramenta para o local de extração. Este sistema ajuda a minimizar o erro humano na extração aumentando a qualidade do transplante num todo.

O sistema de controlo do *ARTAS* tem que ter em conta os seguintes parâmetros:

- Ângulo de elevação do cabelo;
- Direção do cabelo;
- Profundidade local do folículo;
- Densidade folicular tanto na zona doadora como na zona a sofrer os implantes;
- Número total de incisões no decorrer da sessão.



Figura 2.14: Robo ARTAS

No entanto existe uma limitação da técnica devido à impossibilidade identificar a protuberância do cabelo a partir do exterior e, portanto, o procedimento é cego.

2.8 Impacto social e na saúde pública

A alopecia é comum a milhões de pessoas no mundo acabando por ser um problema de saúde que afeta a estética da pessoa, bem como a o bem estar psicológico. Um dos grandes motivos que levam a este impacto, é que 60 % dos casos atingem diretamente o couro cabeludo, isto é, uma zona exposta aos olhos da restante sociedade. [10] [11]

No ano de 1995, resultado de alguns estudos, era possível afirmar que pelo menos que 1.5% da população mundial já sofreu de alopecia areata (secção 2.2) pelo menos uma vez na vida. Em termos de distribuição entre gêneros, os resultados eram semelhantes não havendo distinção entre sexos. [12] No entanto, devido aos elevados aumentos dos níveis de stress a

que as pessoas se encontram expostas diariamente, por motivos pessoais e profissionais, este valor teve um grande aumento, sendo que ainda não é esperada nenhuma diminuição desses níveis.

O stress emocional tem sido um grande desencadeador da doença. Episódios traumáticos como divórcios, luto e desemprego podem provocar desequilíbrios psicológicos com consequência de perda de pêlo do indivíduo. [13] Além disso, este tipo de doença produz evidentes alterações psicológicas pelo prejuízo no aspeto estético do indivíduo levando à degradação das relações tanto a nível social como afetivo por fatores psicológicos como falta de confiança. [14]

Os fatores antes descritos levam a que haja uma inter-relação com a depressão.[15] Esta relação é muitas vezes um ciclo vicioso onde a degradação do estado estético influencia o psicológico do indivíduo que por sua vez volta a degradar a estética, sendo que por muitos tratamentos feitos, até se atinja um novo bem estar emocional, as consequências da doença continuarão a ser visíveis.

Capítulo 3

Desenvolvimento de um sistema de Acumulação e Tipificação dos Folículos

O seguinte capítulo pretende identificar quais as necessidades do cliente bem como os requisitos técnicos que o produto resultante deste trabalho terá que respeitar. Com base em critérios, será criada uma hierarquia para priorizar quais os tópicos que terão que ter especial atenção. Também serão abordados os conceitos que surgiram, assim como a identificação e desenvolvimento do conceito escolhido.

Apesar de se fazer uma análise ao que o produto final terá que possuir, neste capítulo, o resultado final é a prova de um conceito em que alguns requisitos não serão muito desenvolvidos, visto tratar-se de um protótipo para prova de conceito. No entanto a quando o desenvolvimento do produto final (Capítulo 4), esses aspetos são tidos em consideração.

3.1 Identificação das necessidades

O projeto proposto pretende que seja desenvolvido um sistema de armazenamento adaptável a um sistema de extração por **FUE** com vácuo capaz de quantificar e qualificar os excertos de couro cabeludo extraídos da cabeça dos pacientes. Este sistema tem que garantir todas as necessidades a nível de higiene para que não existam complicações de foro infeccioso no recobro dos pacientes.

Numa vertente mais direcionada para o operador da mesma, o sistema tem que ser o mais *user friendly* possível de forma a evitar quaisquer erros no procedimento cirúrgico por incorreta utilização. Para além destas necessidades, o sistema tem que ser capaz de trabalhar em modo degradado, isto é, ser capaz de executar a sua função de forma colaborativa com o operador em caso de falha tendo em conta sempre o custo final e o impacto que pode vir a ter no paciente durante o procedimento cirúrgico.

Listagem

No âmbito das necessidades do ponto de vista do médico, foi possível definir as características mais importantes para um suposto cliente, isto é, uma clínica que queira adquirir um sistema de armazenamento de folículos:

- Aparência do sistema (não pode intimidar os pacientes);
- Ser esterilizável;
- Fácil de limpar;
- Acolher os folículos;
- Quantificar o número de pelos/folículos;
- Quantificar o folículo (apto ou não apto);
- Ser fiável;
- Ser de fácil utilização;
- Ser robusto;
- Ser económico;
- Não ser muito ruidoso;
- Trabalhar em modo degradado.

Diagrama de Murge

Com o intuito de ordenar os requisitos anteriormente mencionados por ordem de relevância, decidiu-se aplicar o diagrama de Mudge. A tabela 3.1, tem como objetivo classifica-los de forma a hierarquiza-los para poder ser possível definir-se os requisitos técnicos que o sistema terá que ter para garantir o correto funcionamento do sistema.

Tabela 3.1: Critério de Murge aplicado às características requeridas pelo cliente

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Soma	^a
A Aparência	B3	C3	D3	E3	F3	G3	H2	I0	J2	A1	L3	1	1%
B Esterilizável	B	B2	o	E1	F1	B1	B2	B2	B2	B3	B2	17	13%
C Fácil de limpar		C	D3	E2	F2	G2	C2	I2	J1	C1	J1	8	6%
D Acolher folículos			D	D2	D2	D2	D3	D2	D3	D3	D1	24	18%
E Quantificar pêlos				E	o	E2	E3	E3	E2	E3	E1	22	17%
F Qualificar pêlos					F	F2	F3	F3	F2	F3	F1	20	15%
G Ser fiável						G	G2	I1	G3	G2	G2	13	10%
H Fácil utilização							H	H2	H2	H2	H2	10	8%
I Ser robusto								I	I1	I2	I2	8	6%
J Ser econômico									J	K1	J1	3	2%
K Não ser ruidoso										K	L2	1	1%
L Modo degradado											L	5	4%
Total												132	100%

^a Arredondado às unidades

Do diagrama de Murge (Tabela 3.1), tem-se que os requisitos que garantem a satisfação do cliente ordenados por relevância são:

- **Acolher os folículos (18%)** - Tem que ser capaz de receber todos os folículos e armazená-los, independentemente do número de pêlos e qualidade;
- **Quantificar o número de pêlos (17%)** - Tem que ser capaz de contar o número de raízes em cada folículo extraído;
- **Qualificar os pêlos (15%)** - Tem que ser capaz de avaliar a qualidade do folículo, isto é, garantir que nenhum pêlo está partido e que tem condições para ser implantado posteriormente na área calva;
- **Ser esterilizável (13%)** - Tem que se garantir a possibilidade de esterilização do material;
- **Ser fiável (10%)** - Tem que garantir os melhores resultados para a função que vai executar em que o número de erros por horas de trabalho tem que ser o mais baixo possível. Este requisito advém da garantia de correto funcionamento dos primeiros três requisitos já hierarquizados;
- **Fácil utilização (8%)** - Tem que ser *user friendly* o máximo possível tanto a nível de funcionamento, como a nível de preparação pré-cirúrgica, isto é, montagem das peças esterilizadas no robô;
- **Fácil de limpar e robusto (6%)** - A componente física deve ser fácil de limpar para que posteriormente possa ser esterilizada. do ponto de vista da robustez, este deve ser robusto tanto do ponto de vista físico como de *software* para garantir bons resultados;
- **Modo Degradado (4%)** - Deve ser capaz de trabalhar em algumas situações em que haja algum tipo de falha no sistema. Se, por exemplo, o módulo de vácuo falhar após a extração por questões técnicas, os folículos podem ser acedidos manualmente e a informação sobre cada folículo ainda estará disponível;
- **Ser econômico (2%)** - O preço, como em qualquer projeto, deve ser um elemento importante para a viabilidade do projeto. Neste caso, por se tratar de um produto novo

o preço tende a ser mais elevado, sendo que quando passar à fase de produção em massa, tende a descer;

- **Aparência e não ser ruidoso (1%)** - Deve ser o mais silencioso possível para garantir um ambiente o mais confortável para o paciente. Em relação ao aspeto, este tem que ser o mais discreto possível para não causar nenhum receio por parte do paciente na realização do procedimento cirúrgico, visto que o paciente estará consciente durante a realização do mesmo.

Diagrama de Kano

Para garantir a satisfação do cliente, também se deve fazer um estudo do que pode aumentar o grau de satisfação tendo em conta os requisitos do seu ponto de vista. A função deste modelo é determinar quais atributos devem ser incorporados ao produto e quais atributos podem ser deixados de lado, uma vez que não agregam valor do ponto de vista do próprio.

Tabela 3.2: Critério de Kano

	Critério de Kano	Descrição
I	Indiferente	Esta característica é indiferente ao consumidor
E	Excitante	São aquelas características que surpreendem de maneira positiva o consumidor
L	Linear	São os itens que trazem maior satisfação aos clientes à medida que aumenta o nível de desempenho do produto
O	Óbvia	São aquelas características que são óbvias, ou seja, que o consumidor entende que deve encontrar no seu produto. O cliente não nota quando seu desempenho é adequado, porém, provoca insatisfação quando seu desempenho não é suficiente.
R	Reversa	Indica também um problema e deve-se retornar a pergunta ao cliente
Q	Resultado questionável	O resultado foi contraditório, e, portanto, deve-se solicitar ao consumidor uma nova resposta ou esclarecimentos.

Com base nos critérios definidos na tabela 3.2, avaliaram-se as necessidades do Cliente (Tabela 3.3).

Tabela 3.3: Aplicação do Critério de Kano ao Produto

	Critério de Kano
Aparência	E
Esterilizável	O
Fácil de limpar	L
Acolher folículos	O
Quantificar pelos	O
Qualificar pelos	O
Ser fiável	L
Fácil utilização	L
Ser robusto	O
Ser económico	E
Não ser ruidoso	E
Modo degradado	L

3.2 Identificação das especificações técnicas

Após o estudo para se saber o que o cliente pretende que o sistema de armazenamento possua, é necessário definir os requisitos técnicos que terão que ser respeitados. Estes serão fulcrais para uma correta seleção de materiais, câmeras e restantes adereços que farão parte integrante do sistema de armazenamento.

Começando pelas condições de higiene, visto que se trata de um sistema para aplicação médica, este tem que ser esterilizável e fácil de limpar, para tal tem que se saber como será esterilizado e as suas condições de esterilização. As arestas dos principais componentes terão que ter um raio mínimo de forma a evitar que sujidade se aloque em cantos de difícil acesso. Por possuir um sistema de visão também que terá possuir câmeras e definir-se qual a resolução de imagem que se vai utilizar e a sua distância de trabalho. A iluminação também terá grande importância visto que vai influenciar na qualidade de imagem a ser tratada bem como a transmitância luminosa do material. Em termos de características físicas, também é preciso ter em atenção o volume e o peso. Do ponto de vista funcional, terão que ser definidos os valores de vácuo de funcionamento, tanto de acolhimento do folículo, bem como para impeli-lo para a ferramenta de implante, bem como o diâmetro das mangueiras e tubos em que os folículos irão circular. A capacidade do armazém, também é algo importante para o correto dimensionamento do sistema.

Deste modo, conseguimos destacar as seguintes características técnicas:

- Temperatura de esterilização (°C);
- Raio mínimo das arestas (mm);
- Vácuo de recolha (kPasc);
- Pressão de saída (kPasc);
- Diâmetro da mangueira (mm);
- Distância da câmara (mm);
- Resolução da câmara (Mpixel);
- Número de posições do armazém (unidade);
- Transparência do recipiente (%);
- Número de avarias por cada 100 h de trabalho (unidade);
- Ruído (db);
- Peso (kg);
- Volume (m^3);
- Preço do Material (Euros);
- Grau de complexidade do software (KB).

3.3 Matriz QFD

O QFD (*Quality Function Deployment*) surgiu na década de 70 no Japão, nos estaleiros da Mitsubishi, em Kobe, e começou a ser utilizado no Ocidente no final da década de 80 graças aos bons resultados que impressionaram as empresas ocidentais.[19] Atualmente, atingiu um estágio em que é bem conhecido na literatura acadêmica da gestão do desenvolvimento de produto e tem sido amplamente aplicado em vários países . [20]

Podendo ser usado dentro de um ambiente de melhoria contínua, pode ser definido como uma ferramenta que permite orientar o trabalho de desenvolvimento em direção às necessidades dos clientes por meio do desdobramento dos requisitos dos clientes em requisitos do produto. Esta ferramenta também permite uma melhor organização e priorização do trabalho a ser realizado, levando a uma redução de tempo e modificações a serem efetuadas até ao produto final (Figura 3.1).

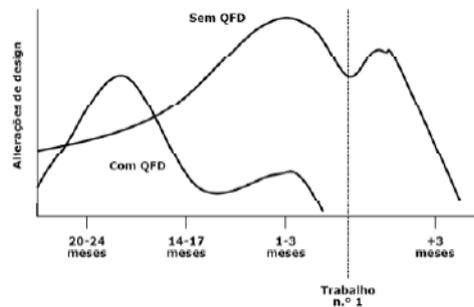


Figura 3.1: Evolução das alterações no *design* entre as empresas que utilizam o QFD e as que não utilizam

O processo **QFD** é realizado através de matrizes que desdobram as necessidades dos clientes e os requisitos técnicos relacionados. Com um formato semelhante a uma casa, ficou conhecido como a "Casa da Qualidade". É considerado no processo a "voz do cliente", pois identifica o que o cliente deseja, como e quanto será realizado ou melhorado no processo ao menor custo possível. Sendo este processo dividido por várias etapas:

- Necessidades dos clientes são traduzidas em Especificações Técnicas;
- As especificações são detalhadas para cada uma das partes do produto;
- Processos para fazer cada uma das partes são estabelecidos;
- As necessidades de produção para cada uma das partes são determinadas;

Todo este processo leva a que sejam aproveitados vários benefícios de um processo de desenvolvimento de produto. O foco no consumidor e concorrência, redução do tempo de lançamento e reparações, após o lançamento, e um desenvolvimento da compreensão comum sobre as decisões, motivos e implicações de determinadas medidas adotadas durante o desenvolvimento.

Desenvolvimento do QFD

Tendo em conta que o objetivo deste trabalho é desenvolver um produto único adaptável a sistemas de extração por **FUE** com auxílio de vácuo, decidiu-se avaliar o que o cliente espera que seja o resultado final e aquilo que se considera que serão os requisitos mais ou menos difíceis de satisfazer. Para tal, agruparam-se os requisitos do cliente e agruparam-se em cinco níveis para quantificar o grau de importância, tanto para o cliente como para o projeto. Do ponto de vista do projeto, o autor atribui os níveis tendo em conta os requisitos do cliente e os requisitos técnicos. (Tabela 3.4)

Tabela 3.4: Avaliação do grau de importância dos requisitos do cliente

	Grau de importância para o Cliente	Grau de importância para o projeto
Aparência	4	4
Esterilizável	4	4
Fácil de limpar	3	3
Acolher folículos	3	5
Quantificar pelos	5	5
Qualificar pelos	5	5
Ser fiável	3	4
Fácil utilização	3	2
Ser robusto	2	2
Ser económico	3	1
Não ser ruidoso	3	2
Modo degradado	1	2
Total	39	39

Tendo em conta a tabela 3.4, estabeleceu-se uma relação entre os requisitos do cliente e as especificações técnicas do sistema de armazenamento quantificadas com os graus de correlação em nulo (0), fraco (1), moderado (3) e forte (9). Sendo que a importância da especificação do produto resulta da soma das multiplicações da importância da relação com a importância do requisito cliente (Equação 3.1) resultando na tabela 3.5.

$$Grau\ de\ importância = \sum_{i=m}^n \left(\frac{Importância\ da\ relação}{i} \times \frac{Grau\ de\ importância_i}{Total\ do\ Grau\ de\ importância\ para\ o\ projeto} \right) \quad (3.1)$$

Exemplo do cálculo do grau de importância dos requisitos (req. do produto):

$$\frac{Grau\ de\ importância\ do\ Raio\ mínimo\ das\ arestas}{i} = 1 \times \frac{4}{39} + 9 \times \frac{3}{39} = 7 \quad (3.2)$$

Tabela 3.5: QFD do sistema de armazenamento

	Temperatura de esterilização	Ratio mínimo das arestas	Vácuo recolher foliculo	Vácuo impelir foliculo	Diâmetro dos tubos	Distância da câmara	N.º de posições de armazenamento	Resolução da câmara vídeo	Transmitância Luminosa	N.º de avarias por 100h	Grau de complexidade do software	Decibéis	Preço	Peso	Volume dispositivo		Cliente	Kano (Interno)	Grau de importância (geral)
Aparência															3		4	E	4
Esterilizável	9	1			3		3										4	O	4
Fácil de limpar		9			3		3										3	L	3
Acolher foliculos			9	9	3		3										3	L	5
Quantificar pelos						9	3	9	9		9						5	O	5
Qualificar pelos						9	3	9	9		9						5	O	5
Ser fiável										3	3						3	L	4
Fácil utilização											3						3	L	2
Ser robusto						1					3		1				2	L	2
Ser económico													9	3	3		3	E	1
Trabalhar em modo degradado					1	3				9	1						1	E	2
Não ser ruidoso			3	3								9					3	E	2
Grau de importância (req. produto)	92	79	131	131	97	251	169	231	231	77	297	46	28	7.7	38				
Percentual	5	4	7	7	5	13	9	12	12	4	16	2	1	0	2	100			
Unidade	°C	mm	kPascal	kPascal	mm	mm	Unidade	Mpixel	%	Unidade	KB	db	Euros	Kg	m³				

Interpretação do QFD

Ao interpretar o QFD da tabela 3.5 em conjunto com as tabelas 3.1, 3.3 e 3.4, foi possível identificar quais os requisitos técnicos que tinham que ser alvo de um maior cuidado no desenvolvimento da solução.

Por ordem descendente de prioridade, surgiram os seguintes resultados:

- **Grau de complexidade do software** - É de ter em consideração que apesar de o software ter que ser robusto, dando segurança ao utilizador dos resultados, também deve ser fácil de usar do ponto de vista do utilizador;
- **Resolução da câmara** - Neste requisito técnico procura-se incluir todas as características técnicas relativas à câmara, tal como luminosidade;

- **Distância da câmara** - Procurar encontrar a melhor posição para obter a melhor imagem possível;
- **Transmitância luminosa** - Como principal objetivo deve-se garantir a melhor visualização possível dos folículos para correta avaliação quantidade e qualidade dos mesmos tendo em conta a escolha do material;
- **Número de posições de armazenamento** - Este requisito é crucial para o dimensionamento do sistema, a quando a fase de desenvolvimento do produto final, tendo grande influência no peso, volume e modo de armazenamento dos folículos;
- **Valores de vácuo** - Requisito de grande importância para a circulação o sistema de transplantes capilares (extração/armazenamento/implantação), no entanto no armazenamento, deve ser tido em conta, mas não alvo de uma análise exaustiva pois depende de vários componentes, exteriores a este estudo, como exemplo os *punchs*;
- **Temperatura de esterilização** - Para garantir este requisito, deve-se ter especial cuidado na escolha dos materiais, bem como uma correta escolha dos métodos de esterilização;
- **Raio mínimo das arestas** - À semelhança do requisito anterior, este é algo que deve ser tido em conta pois é essencial para garantir uma correta higienização do armazém para a sua utilização com diferentes pacientes. No entanto, deve ser dada importância no desenvolvimento do produto final;
- **Diâmetro das mangueiras** - Característica importante visto que será dentro das mangueiras que circularão os folículos, o que terá grande influencia nos caudais dos fluidos e adaptadores para conectar as mangueiras ao armazém. Na fase de protótipo é preciso levar-se em consideração para um dimensionamento correto dos adaptadores das mangueiras ao armazém;
- **Número de avarias por cem horas de trabalho, Decibéis, Preço, Volume do dispositivo e Peso** - São características técnicas importantes, mas que necessitam menos preocupação quando comparadas com as outras.

Deste modo, é possível ver quais as características básicas que tem que ser idealizadas em conceitos e posteriormente desenvolvidas para que o objetivo deste trabalho seja cumprido.

3.4 Geração e seleção de conceitos

O presente capítulo serve para facilitar a compreensão do processo criativo referente à solução. Será explicado quais as duas principais abordagens idealizadas bem como os motivos

que levaram à seleção do conceito final.

3.4.1 Geração do conceito

Para encontrar uma solução do que poderia ser uma solução viável foi necessário compreender o comportamento dos folículos quando sujeitos a diferentes situações deste a extração bem como na implantação. Os conceitos que serão apresentados, foram os que mais garantias davam dos muitos que foram idealizados.

Unidade de visão com tapete rolante

Numa primeira abordagem, idealizou-se que após o folículo ser extraído pela ferramenta, este é transportado por um sistema de vácuo/pressão numa mangueira até ser depositado no tapete rolante (Figura 3.2). Com a deposição do mesmo, seguidamente analisado por uma câmara de alta definição para serem categorizados pela quantidade de pêlos e para avaliação da qualidade. Após este processo análise, estes são armazenados por características no armazém que será depois retirado e instalado na ferramenta de implante.

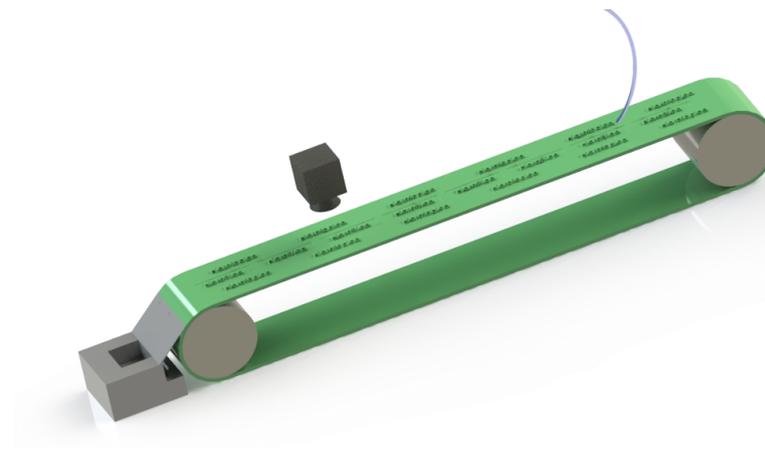


Figura 3.2: Esquema de funcionamento da Unidade de visão

Uma das limitações iniciais encontradas nesta solução, é a incapacidade de orientar os folículos de forma correta para que possam ser armazenados com a orientação pretendida para o implante. Para tal, pensou-se em adicionar soro aos folículos e dotar a superfície do tapete rolante de propriedades hidrofóbicas para que seja mais fácil manipular a a sua orientação (Figura 3.3).

Usando a configuração disposta na imagem anterior, o folículo manter-se-á sempre dentro da região hidrofílica com a orientação com que este é depositado no tapete rolante. A largura da área hidrofílica será inferior ao comprimento normal de um folículo de forma a preservar a sua orientação para posteriormente poder ser armazenado.

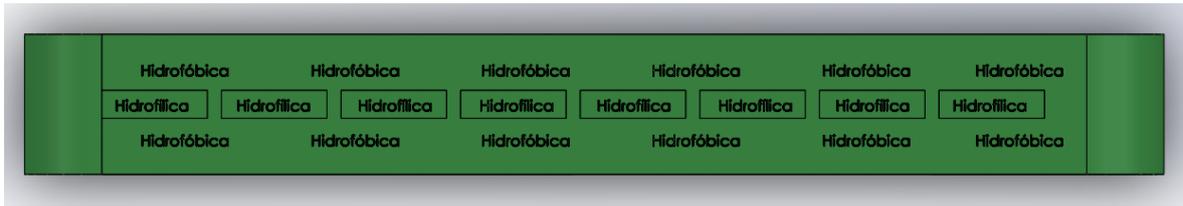


Figura 3.3: *Design* da superfície do tapete rolante

Com a existência de métodos físicos para dotar superfícies rígidas de propriedades hidrofóbicas, desenvolvidos recentemente, como a manipulação via laser, ainda seria difícil e custoso dotar a superfície destas propriedades alterando-a através de tratamentos físicos isto é, mecanicamente manipular a rugosidade para que esta se torne hidrofóbica. Este tratamento adivinha-se inviável pelos custos.

Para tal a opção mais viável seria a aplicação de um tratamento químico que, de alguma forma, não contaminasse o soro e fosse capaz de permanecer inalterado face a tratamentos de esterilização necessários para desinfetar a unidade de visão de paciente para paciente.

Nesta situação, o melhor método encontrado, que evita a troca do sistema (tapete rolante) por completo para esterilização, foi a implementação da esterilização por Luz UV. Deste modo, a Unidade de Visão seria facilmente esterilizável, sem que tivesse que haver trocas de peças no interior. No entanto, para validação desta solução seriam necessários garantir os seguintes tópicos:

- Garantir as propriedades hidrofóbicas/hidrofílicas após cada esterilização;
- Garantir a esterilização completa por Luz UV;
- Garantir que em nenhum momento os folículos seriam contaminados por algum produto presente no tapete rolante;

Unidade de visão rotacional

Devido à inexistência do armazém que permitisse armazenar os folículos, após a catalogação, tentou-se desenvolver um armazém e incluir o sistema de visão no mesmo. Deste modo tentou-se simplificar o processo requerido pelo sistema e resolver o problema da catalogação e do armazenamento com uma só solução.

Para tal, o método de categorização e armazenamento teve que ser completamente diferente do até aqui pensado. Tinha que ser um armazém transparente, leve, pequeno e compacto para que o sistema de visão seja facilmente instalado. A câmara em si, também teria que ser pequena e capaz de captar as imagens com boa qualidade.

Assim, começou-se em primeiro lugar por idealizar um armazém capaz de armazenar os folículos. Inspirado em métodos de armazenamento das ferramenta de extração semi-automáticas, observados numa visita a uma clínica de transplantes capilares, em que é indu-

zido vácuo no copo com tampa (Figura 3.4).



Figura 3.4: Modelo de armazém atual sem tampa

Neste modelo os folículos eram aspirados por um sistema de vácuo para dentro um recipiente, passando pela malha e ficavam depositados no fundo do copo. Aproveitando este modelo aliou-se a transparência do copo a uma malha mais fina capaz de reter os folículos para os armazenar. O conceito passava por introduzir o folículo com a parte mais fina dentro do orifício da malha, de área inferior à da secção mais grossa do folículo, de forma a que ele ficasse preso no orifício. Para tal, um *design* circular foi concebido para garantir a proximidade do folículo junto às paredes do copo para facilitar ao sistema de visão a quantificação e classificação dos pêlos em cada unidade folicular. O armazém tem como objetivo armazenar o máximo de folículos possível para uma diminuição do tempo durante a cirurgia.

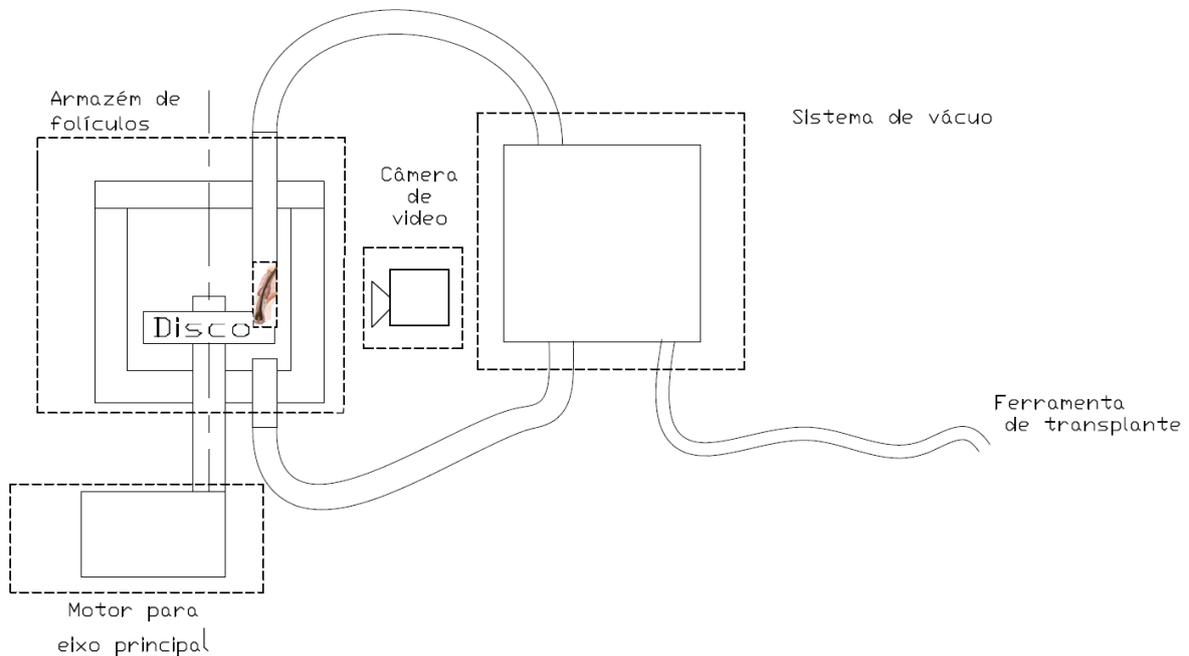


Figura 3.5: Proposta de ideia de armazém interno à ferramenta

Como é possível observar na figura 3.5, o sistema é composto por vários módulos separados que trabalharão em coordenados uns com os outros para possibilitar o funcionamento do armazém. Para compreensão do funcionamento do serão enumerados de forma temporal as

etapas de funcionamento:

1. O folículo é extraído pela ferramenta de extração e conduzido, pelo sistema de vácuo, até ao armazém de folículos;
2. Após entrar no armazém é depositado no disco, que possuirá uma geometria capaz de o acolher;
3. Será retirada uma fotografia ao folículo alojado pela câmara microscópica;
4. A imagem é processada pelo *software* para realizar a catalogação do folículo;
5. O motor do eixo principal é acionado para o disco, que acolhe os folículos, rodar para uma nova posição livre;
6. Todos os procedimentos anteriores são repetidos até o armazém ficar cheio;
7. depois de cheio, será invertido o fluxo de ar, sendo que os folículos são movimentados sempre por vácuo entre o armazém e o sistema de vácuo;
8. O folículo é retirado do disco pela parte superior, passando pelo sistema de vácuo, e posteriormente, por pressão empurrados para a ferramenta de implante, repetindo este passo até o armazém ficar vazio.

De forma a organizar o funcionamento do conceito, este foi dividido em vários módulos com diferentes funções:

- **Módulo de armazenamento** - Local onde os folículos serão armazenados;
- **Módulo de rotação do eixo principal** - Proporcionará um movimento rotacional com precisão ao disco que acolhe os folículos com o recurso de um motor passo a passo;
- **Módulo de vácuo** - Será responsável pelo deslocamento dos folículos na entrada, por dentro, e na saída do sistema;
- **Módulo de software e análise** - Incorpora a câmara microscópica e todo o algoritmo de coordenação do sistema e tratamento das imagens retiradas com a câmara;

No armazém haverá uma mangueira de sucção conectada na parte inferior do recipiente, criando uma baixa pressão no recipiente. Todo o recipiente encontra-se vedado de forma a minimizar as perdas de pressão, tanto na tampa como pela mangueira. O adaptador de mangueira para além de ser utilizado para conectar a mangueira, também tem a função de regular a aproximação ao disco para que o folículo seja depositado no mesmo. Esta ideia também inclui um veio de rotação que permite selecionar a posição do disco de forma a que seja testada a rotação.

Para um estudo, onde o material deve evitar-se ser desperdiçado, a geometria pensada permite uma correção das cavidades (Figura 3.6) num novo local sem ter que ser fabricado um novo disco. Esta geometria também facilita o estudo dos folículos armazenados quando não estão na posição de trabalho.

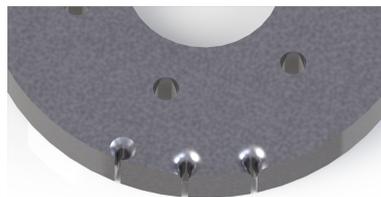


Figura 3.6: Disco do armazém

Neste *design* descrito, pretende-se que o folículo ao cair do adaptador, o faça numa cavidade com diâmetro de 0.4 mm (valor estimado como aceitável considerando 1 mm de diâmetro de cada folículo) que permite à parte mais fina do folículo entrar no orifício impedindo a parte mais grossa de passar, fazendo com que o mesmo fique suspenso no disco. As curvaturas dadas nas arestas do orifício tem como função ajudar o folículo a guiar-se para a respetiva posição. A região lateral aberta, tem como objetivo permitir ao sistema de visão avaliar a qualidade dos folículos.

3.4.2 Seleção do conceito

Para a escolha do conceito que foi desenvolvido, vários critérios foram tidos em conta. A facilidade de limpeza e esterilização, o possível preço e as dimensões volumétricas foram os fatores que mais pesaram na escolha.

Para uma análise foram selecionados fatores que serão decisivos na escolha e quantificados entre 0 e 1. O número 0 avalia como difícil ou inexistente e o 1 como fácil ou existente, sendo que a atribuição dos pontos é dada na comparação feita entre ambos os conceitos.

Tabela 3.6: Unidade de visão com tapete rolante Vs. Unidade de visão rotacional

Características	Conceito 1 Unidade de visão com tapete rolante	Conceito 2 Unidade de visão rotacional
1. Armazenamento	0	1
2. Facilidade de circulação de folículos	0	0
3. Limpeza	1	0
4. Facilidade de esterilização	0	1
5. Análise por sistema de visão	1	0
6. Dimensão	0	1
7. Ruído	1	1
8. Modo degradado	1	0
9. Preço	0	1
10. Confiança na solução	0	1
Total	4	6

A pontuação dada na tabela deveu-se a:

1. Armazenamento - O segundo conceito já inclui o armazenamento o que não acontece no primeiro conceito. No primeiro conceito, ainda se teria que se desenvolver um armazém capaz de acolher os folículos. Deste modo, neste tópico, o segundo é mais vantajoso que o primeiro conceito;
2. Facilidade de circulação de folículos - Em nenhum dos dois, a circulação dos folículos é considerada como fácil necessitando de grande atenção no desenvolvimento. Por este motivo nenhum dos dois recebeu ponto de vantagem;
3. Limpeza - O segundo conceito, por possuir dimensões mais pequenas e aparentemente ser mais compacto levará a que haja mais dificuldades na limpeza que no primeiro conceito;
4. Facilidade de esterilização - O segundo por ser mais pequeno e compacto, poderá ser mais fácil de esterilizar. Esterilizar um tapete rolante não se adivinha fácil;
5. Análise por sistema de visão - Estima-se, que por o folículo estar depositado numa superfície limpa sempre com as mesmas condições, o ruído que a imagem poderá possuir seja menor. Na segunda solução, haverá sempre ruído porque existirá uma superfície entre o folículo e a câmara (parede exterior do recipiente);
6. Dimensão - O primeiro adivinha-se que possa ser ter maiores dimensões;
7. Ruído - Ambos terão um sistema de vácuo semelhante, sendo que o ruído depende dos componentes do sistema de vácuo. Atualmente já existem soluções de vácuo com baixos níveis de ruído;
8. Modo degradado - Por uma questão de tamanho e acessibilidade aos folículos, adivinha-se que o primeiro conceito facilite a utilização em modo degradado;
9. Preço - Dispensando o tapete rolante e motor que o aciona, bem como o sistema de esterilização que terá que estar incluído, leva a que o preço se adivinhe mais elevado que uma solução que dependerá dos materiais selecionados e da maquinaria dos mesmos a quando o fabrico (segundo conceito);
10. Confiança na solução - A sensibilidade adquirida por observação do comportamento dos folículos após a extração em procedimentos manuais, em conjunto com alguma pesquisa efetuada, leva a que a confiança na possibilidade de funcionamento recaia sobre o segundo conceito.

Tendo em conta os motivos referidos e os resultados da tabela 3.6, a escolha recaiu no segundo conceito visto possuir maiores garantias de funcionamento.

3.5 Modelação 3D

Neste capítulo serão descritos os princípios gerais por de trás do processo de modelação. O software para a modelação em 3D, foi o *Solidworks 2016* da *Dassault Systems*.

3.5.1 Princípios gerais de montagem

O sistema tem como principal característica no processo de modelação, ser o mais simples possível de montar/desmontar, bem como garantir que em algum momento não haverá fugas de fluídos. O sistema deve conter o menor número de peças possível que sejam sujeitas a esterilização diminuindo complexidade do processo de montagem após cada utilização. Este princípio apesar de não ser fulcral nesta etapa terá grande relevância para o desenvolvimento do produto final.

3.5.2 Posição de funcionamento

O sistema pode vir a ser utilizado em variadas situações. Pode estar conectado a uma ferramenta semi-automática como também pode estar acoplado a um sistema completamente robotizado e autónomo que realize cirurgias de transplantes capilares. No entanto para garantir a estabilidade dos folículos no interior, a face do disco, deve estar paralela ao chão.

3.6 Protótipo

As fases de prototipagem e validação são caracterizadas, pela incerteza do conceito por de trás de qualquer proposta de protótipo. O que em teoria parece funcionar, grande parte das vezes falha, o que leva a uma enorme ginástica de pensamento para conseguir prever o real funcionamento. Deste modo, um primeiro modelo foi gerado, utilizando o software CAD SolidWorks (Figura 3.7).

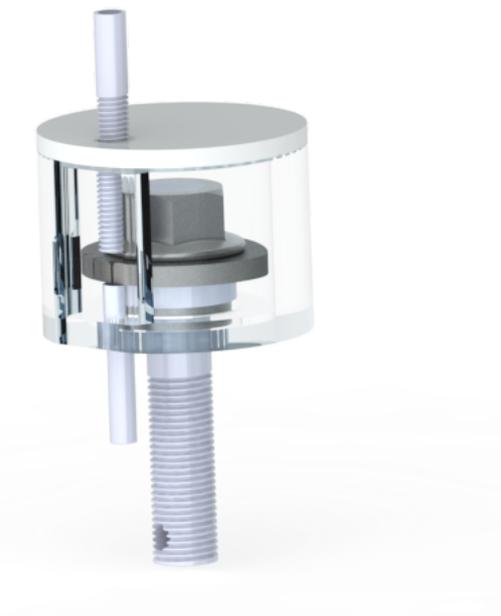


Figura 3.7: Primeiro protótipo desenvolvido

Este primeiro produto, foi desenhado sem ter em conta processo de fabrico ou materiais à exceção do recipiente. A única condição considerada a este protótipo é a de possuir uma superfície no recipiente que permitir visualizar o que está a acontecer no seu interior com bastante qualidade.

Tendo este primeiro protótipo em CAD, várias conversações com um responsável de produção da empresa *Atena,Lda*, várias correções foram necessárias para diminuir os custos de produção do protótipo, bem como aproveitar desperdícios existentes na fábrica. Assim, várias decisões e alterações foram tomadas para facilitar a produção. Exemplo disso, foi o recipiente ter ser de acrílico com um diâmetro máximo de 50 mm. O disco inicialmente utilizado (Figura 3.8) possuía três orifícios, dois iguais e um de geometrias diferente de forma a testar-se a melhor geometria para o pêlo e para testar o comportamento dos folículos no armazém quando este se encontrasse em modo de trabalho.



Figura 3.8: Primeiro disco a ser testado

Para prevenir perdas de vácuo, foram adicionados adaptadores para ligar as mangueiras aos tubos metálicos que ligam o ar ao armazém de folículos.(Figura 3.9)



Figura 3.9: Adaptador pneumático

Um suporte para o protótipo foi feito, aproveitando desperdícios existentes na fábrica, tentando acomodar o armazém sem que , por ação das vibrações originárias de diferenças de pressões, perca a sua posição e orientação.

No entanto, este primeiro protótipo veio com uma falha. A superfície do recipiente em acrílico após processos de fresagem, possuía uma má visibilidade para o interior. A má visibilidade para o interior devido a um deficiente polimento foi, no entanto, solucionado mais à frente neste documento.

3.7 Validação do conceito e processo de melhoramento do protótipo

Tendo o modelo desenvolvido e o protótipo maquinado, foi dado início aos testes para validar a solução.

3.7.1 Primeira experiência

O primeiro experimento, pretendia validar o conceito bem como identificar as principais falhas e melhorias necessárias a implementar no protótipo.

Para a realização do procedimento experimental, duas mangueiras foram acopladas ao protótipo. Uma para criar vácuo no interior do protótipo (entrada inferior) e outro para a entrada das amostras (entrada superior).

Na ligação sistema de vácuo/protótipo adicionou-se um elemento intermédio para no caso de o disco (Figura 3.10) não ser capaz de conter as amostras, estas não serem perdidas para o interior da bomba invalidando uma futura reutilização para repetição de testes. Para este efeito, foi utilizado um frasco com água no seu interior também sujeito a vácuo.(Figura 3.11a)

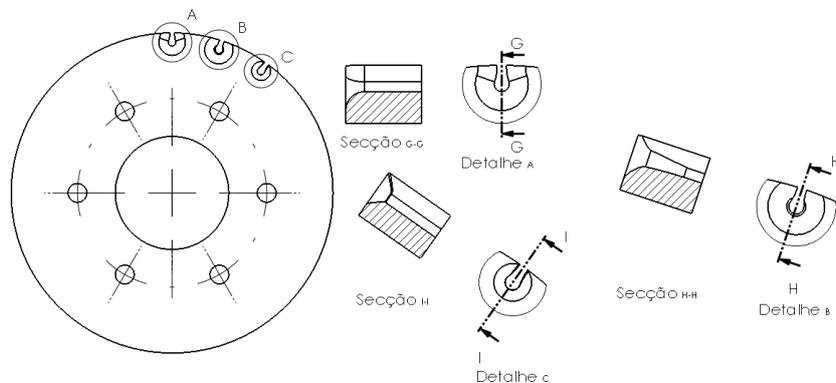


Figura 3.10: Geometria do disco utilizado no primeiro teste

Começou-se por retirar os folículos do soro fisiológico, onde estavam armazenados, e separou-se sem qualquer critério de número de raízes num copo de vidro. Estes folículos foram fornecidos por uma clínica, em que grande parte não estavam nas melhores condições para serem implantados e já estavam armazenados à algum tempo sendo que os resultados não poderiam ser completamente conclusivos. No entanto para a prova de conceito eram suficientemente bons.

Após a preparação dos folículos, tudo estava pronto para o início dos primeiros testes. O compressor foi acionado e por intermédio de um aparelho de *Venturi* (Figura 3.12) e o vácuo



(a) Filtro de foliculos



(b) Aparelho de *venturi* utilizado

Figura 3.11: Componentes utilizados nos testes

começou a ser gerado no interior do sistema. Um intervalo de 15 segundos foi dado para garantir uma uniformização do vácuo no sistema e tentou-se aspirar o primeiro foliculo.

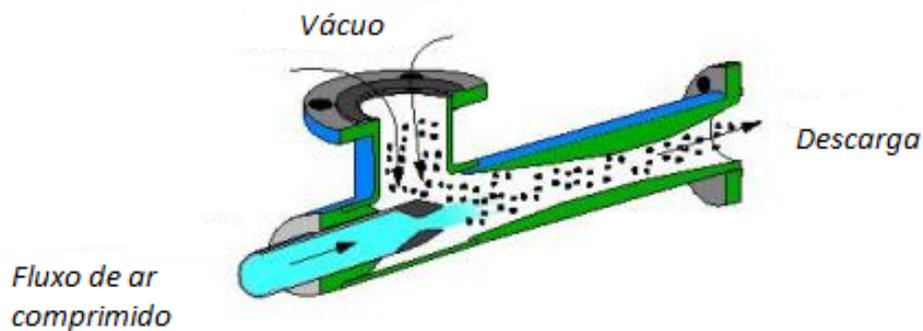


Figura 3.12: Aparelho de Venturi

O primeiro foliculo foi aspirado, mas não chegou ao protótipo. Ficou preso dentro do tubo. Para uma completa aspiração, aspirou-se uma pequena porção de soro fisiológico o que levou a que o foliculo fosse "empurrado" para o interior do armazém. Este ficou posicionado tal como esperado no disco (Figura 3.13), mas não entrou na profundidade pretendida. Após repetir os mesmos testes para os orifícios seguintes os resultados foram os mesmos. A mudança de posicionamento do disco era realizada de forma manual.



Figura 3.13: Disco de armazenagem

Para testar a saída do folículo do armazém, trocou-se o sentido do fluxo de ar, isto é, a sucção do ar para o vácuo ser efetuado pela parte superior do protótipo e a parte inferior ser ligada a um copo com soro fisiológico. Este teste teve o sucesso esperado, sendo que o folículo saiu da sua localização para o exterior.

Deste primeiro teste, foi possível tirar três conclusões vitais para um correto funcionamento do sistema:

- Existia uma grande probabilidade de o conceito ser viável, visto que o sistema se comportou de modo semelhante ao esperado;
- Para a circulação do folículo, um fluido deve ser utilizado para o fazer circular desde a ferramenta de extração até ao armazém;
- Invertendo o sentido do fluxo de ar o folículo é capaz de sair para o exterior.

3.7.2 Segunda experiência

Num segundo teste, tentou-se substituir o sistema *venturi*/compressor por uma bomba de vácuo com pressões máximas de 5×10^{-4} hPa [21] para testar-se o comportamento do folículo quando sujeito a diferentes pressões. No entanto notou-se que para pressões mais elevadas o folículo era destruído, e para pressões mais baixas os resultados eram semelhantes aos do primeiro teste. No entanto não foram feitos quaisquer testes para valores específicos de vácuo visto que as pressões e os caudais irão variar consoante a ferramenta de extração/implante. Neste segundo teste pretendia-se principalmente validar de forma definitiva o conceito, certificar que o soro era parte essencial para deslocar o folículo dentro dos tubos que percorriam todo o sistema desde a ferramenta de extração até ao armazém, bem como testar novas geometrias para o acolhimento do disco.

Em relação aos folículos utilizados, estavam em condições semelhantes aos do primeiro teste, sendo que alguns estavam em boas condições de ser implantados.

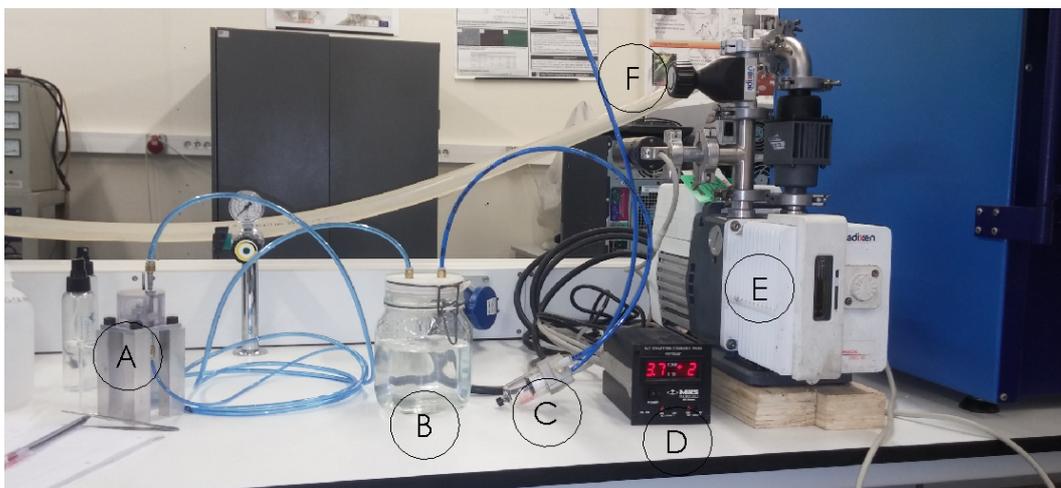


Figura 3.14: Montagem

Onde se legenda:

- **A** - Armazém de folículos e respetivo suporte;
- **B** - Filtro de folículos para prevenir que algum folículo entre para o filtro de ar;
- **C** - Filtro de ar para evitar a entrada de humidade para a bomba de vácuo;
- **D** - Pressostato;
- **E** - Bomba de vácuo;
- **F** - Válvula de controlo de pressão.

Com a montagem descrita na figura 3.14 foi possível validar o conceito para o acolhimento, armazenamento e saída do folículo do armazém. Conseguiu-se também concluir de forma categórica que para valores de vácuo, em que o soro não era essencial para a circulação do folículo pelos tubos, levavam a que o folículo ficasse danificado de forma definitiva o que torna o soro algo essencial para a circulação dos folículos no sistema.

Numa perspetiva da geometria do disco, foram feitos testes para tentar definir qual a melhor geometria para acolher os folículos.

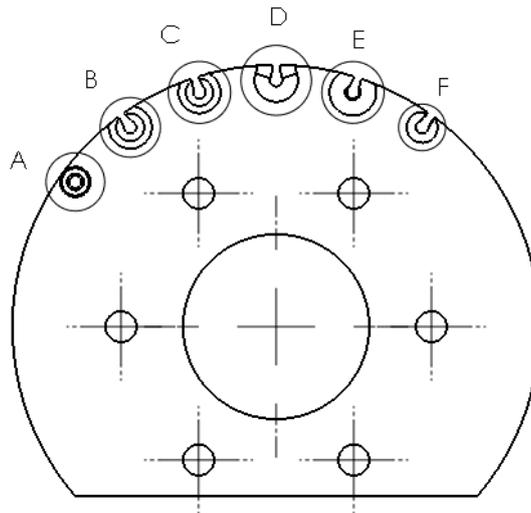


Figura 3.15: Disco do segundo ensaio

Como é possível ver na figura 3.15 o disco possuía oito diferentes cavidades que foram sujeitas a testes de posicionamento dos folículos. A face horizontal inferior tem a geometria com uma aresta reta apenas para poder facilitar a reintrodução do disco no centro de maquinaria para futuras correções do disco.

Teste 1.1 - Ensaio da geometria A

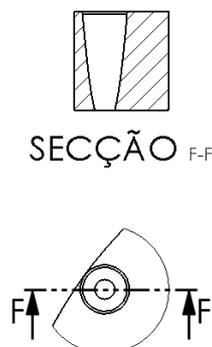


Figura 3.16: Geometria A

A geometria **A**, foi testada com o objetivo de evitar mau posicionamento dos folículos. No entanto, a concentração do fluxo de ar na cavidade, criou forças de sucção de tal ordem, que o folículo atravessou a cavidade e foi sugado até ao filtro que separava o aparelho de vácuo do armazém. Para além desta impossibilidade de o manter na cavidade, os folículos foram sempre danificados de forma permanente, havendo uma separação dos pêlos da bainha de pele que or rodeava.

Teste 1.2 - Ensaio da geometria B

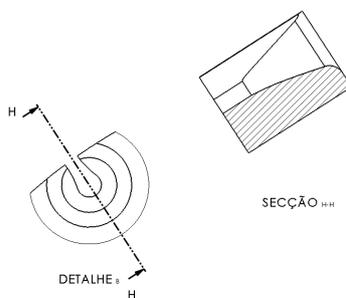


Figura 3.17: Geometria B

A geometria **B** foi a que maiores garantias ofereceu nos testes por ser capaz de receber os folículos. Manteve-os estáveis mesmo quando as cavidades seguintes eram testadas. A sua maior profundidade em relação a outras cavidades, como a **D**, **E** e **F** permitiu um acolhimento mais profundo dando mais garantias de acolher o folículo. Na saída o folículo foi impelido sem qualquer dificuldade.

Teste 1.3 - Ensaio da geometria C

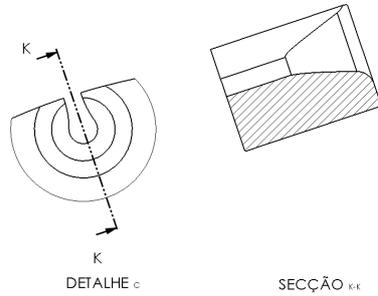


Figura 3.18: Geometria C

Devido à pouca profundidade da geometria **C**, o fólculo nunca se posicionou de forma estável acabando a maior parte das vezes por ficar à superfície do disco. Este mau posicionamento não dá garantias que o fólculo fique posicionado durante o armazenamento até ser impelido.

Teste 1.4 - Ensaio da geometria D

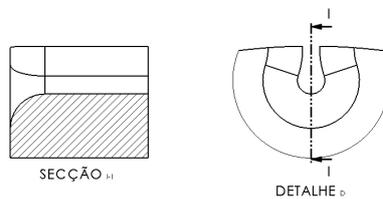


Figura 3.19: Geometria D

O resultado da geometria **D** é em todo semelhante à anterior, possuindo uma pior capacidade de acolher o fólculo.

Teste 1.5 - Ensaio da geometria E

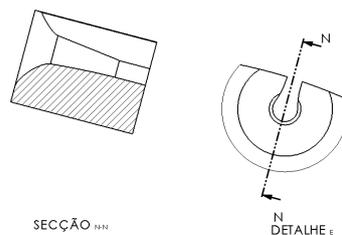


Figura 3.20: Geometria E

A geometria **E** foi capaz de acolher os folículos mas não a uma grande profundidade. Apesar de ter uma boa profundidade, é demasiado estreito na base do orifício o que fez com que o folículo não fosse acolhido até ao plano inferior.

Teste 1.6 - Ensaio da geometria **F**

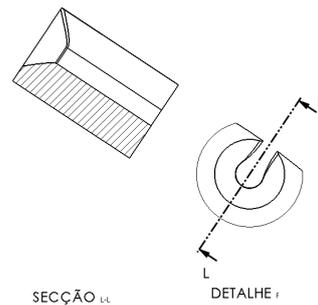


Figura 3.21: Geometria **F**

Por último, a geometria **F** raramente foi capaz de acolher os folículos sendo por isso à partida uma má geometria para acolher folículos.

Nota importante para alteração posterior do teste foi a falta de visibilidade para o interior do recipiente por mau polimento da peça em acrílico. Para corrigir este problema foi feito um rasgo na face representada na figura 3.22 para se acrescentar uma placa de vidro na face plana melhorando bastante a visibilidade para dentro do recipiente.



Figura 3.22: CAD do recipiente sem o vidro

Com esta segunda experiência foi possível tirar as seguintes conclusões:

- O conceito é viável;
- A melhor geometria para acomodar os folículos segundo este ensaio é a geometria **B**;
- O soro é parte essencial à circulação dos folículos pelo sistema, tanto no acolhimento bem como quando estes são impelidos para o exterior;

- O soro também é essencial para manter os níveis de humidade dentro do armazém para que estes não sequem e mantenham uma boa qualidade antes de serem implantados nos pacientes.

3.7.3 Descrição do processo de fabrico

No fabrico do protótipo tentou-se sempre simplificar ao máximo o *design* das peças de forma a reduzir os custos. A escolha do material para a fabricação recaiu sobre o acrílico pelas suas propriedades de transparência. Estas facilitam a passagem da luz proveniente do sistema de iluminação para uma melhor qualidade de imagem extraída pelas câmaras para posterior análise. A resistência e o preço também foram fator decisivo para esta escolha.



Figura 3.23: Peças em acrílico

O recipiente e a tampa, foram desenvolvidas com o auxílio de um programa CAD, sendo exportadas através de um ficheiro *.x_t* para o programa *Mastercam* onde foi gerado o código ISO a ser introduzindo no centro de maquinagem que maquinou as peças em questão. O material selecionado era o acrílico sendo que o tempo de maquinação de ambas as peças foi de duas horas e meia (duas hora para o recipiente e meia hora para a tampa).

O veio principal, desenvolvido e torneado na empresa *Atena,Lda* também em acrílico.

Ao contrário das peças anteriormente referidas, os tubos que ligavam a entrada de ar ao recipiente, foram torneados em aço inox. Esta escolha de material deveu-se à espessura que as paredes roscadas que os tubos possuíam, havendo um elevado risco de que as mesmas se partissem ao mínimo esforço radial.

A peça de fixação do disco foi torneada e roscada em acrílico para permitir uma boa passagem de luz para evitar zonas de sombras na imagem captada pela câmara.

O disco, acabou por ser a peça mais complexa a fabricar-se para permitir uma boa qualidade de imagem. Para garantir um bom polimento lateral, cortou-se, com uma máquina de corte a laser, um disco com uma geometria semelhante à da figura 3.24. Foram adicionadas duas cavidades por maquinar para o caso de algum erro ou necessidade de testar uma nova geometria.

Após o corte de laser, que garantiu um excelente acabamento da superfície lateral, o disco foi introduzido num centro de maquinagem. Com uma fresa de 0.5 mm, fresou-se as cavidades de forma a obter as geometrias mencionadas na secção 3.7.2. Este acabamento foi necessário para obter uma melhor transparência da peça, visto que quando era maquinada de um bloco

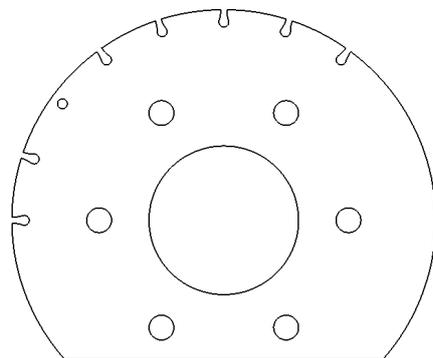


Figura 3.24: 2D para a máquina de corte a laser

em bruto de acrílico, as faces ficavam demasiado opacas degradando a qualidade de imagem que se pretendia.

As restantes peças, como porcas e anilhas foram fornecidas pela empresa *Atena,Lda* sem ter sido necessário o fabrico das mesmas por se tratarem de peças normalizadas. A mola utilizada foi retirada dos desperdícios da empresa tendo como principal função ajudar a evitar fugas pelo furo onde o veio principal se encontrava alojado.

Em relação à peça de vidro colocada na face que está virada para a câmara (Figura 3.25), foi cortada num vidreiro com 16 mm por 35 mm com 3,8 mm de espessura.



Figura 3.25: Vidro com película hidrofóbica

A aplicação da película hidrofóbica foi efetuada no Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro, pelo investigador José Carlos Almeida. A película em questão é o composto Z_5 descrito no artigo científico *A new approach to the preparation of PDMS–SiO₂ based hybrids*. [22] Após ter sido feita a mistura dos reagentes, o produto foi aplicado na superfície do vidro, tendo sido colocado num forno a 60 °C durante 24 horas seguidas de mais 24 horas a 150 °C para que a película tenha o comportamento hidrofóbico esperado. Após a aplicação da película no vidro, este foi colado ao recipiente.

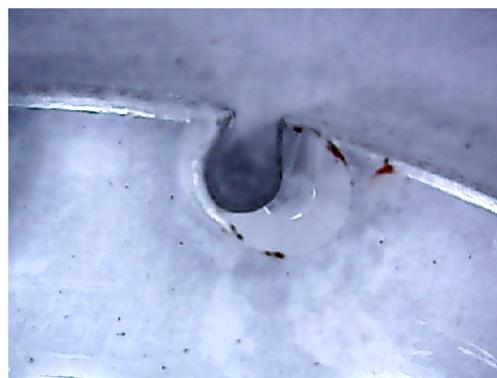
3.7.4 Ensaios finais de Extração, acumulação e envio

Neste último teste, voltou-se à configuração inicial. A bomba de vácuo foi substituída por um compressor acoplado a um *venturi*. A diferença do uso da bomba de vácuo para o sistema usado neste teste, é a velocidade com que o folículo chega à cavidade e a quantidade de soro que se tem que introduzir no sistema para guiar o folículo ao lugar pretendido. Outro motivo que levou a esta escolha, foi que com valores de sucção mais elevados, o folículo é mais facilmente degradado pela má geometria de alguns orifícios.

Apesar de já haver informações relativas aos comportamentos dos folículos para cada geometria de cavidade, os testes foram repetidos com diferentes folículos em melhor qualidade de conservação e prontos a serem implantados. Foram realizados vários ensaios para determinar quais eram os que melhores resultado garantiam. Uma nova geometria (**B.1**) também foi maquinada de forma a procurar um melhor resultado, sendo praticamente igual à geometria **B** diferenciando-se o raio da aresta de curvatura da cavidade na face superior. Assume-se que por erro no posicionamento do disco na CNC, as cavidades **B** e **H** foram danificadas obrigando a uma replicação da cavidade **B** nos lugares onde se deixou a abertura sem ser maquinada anteriormente. A cavidade **H** não foi replicada por não ser considerada uma solução viável, devido aos resultados de testes realizados anteriormente.



(a) Cavidade **D**



(b) Cavidade **H**

Figura 3.26: Cavidades após erro de maquinação

Para uma melhor compreensão, deve-se considerar o novo posicionamento das cavidades onde as cavidades **A**, **C**, **D** e **E** mantêm a mesma localização (Figura 3.27).

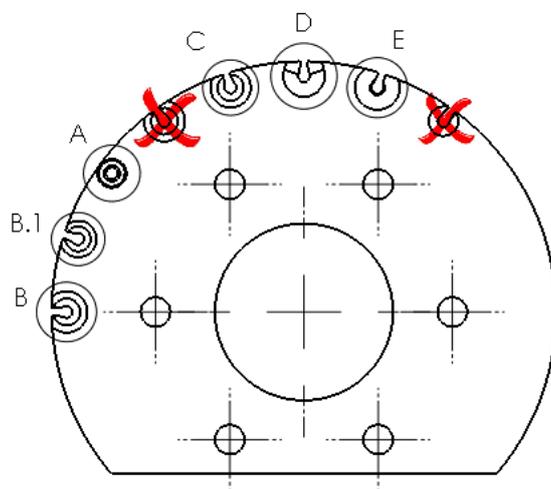


Figura 3.27: Disco final maquinado

Para a realização da experiência, a câmera, LED e o armazém foram montados tal como representado na figura 3.28

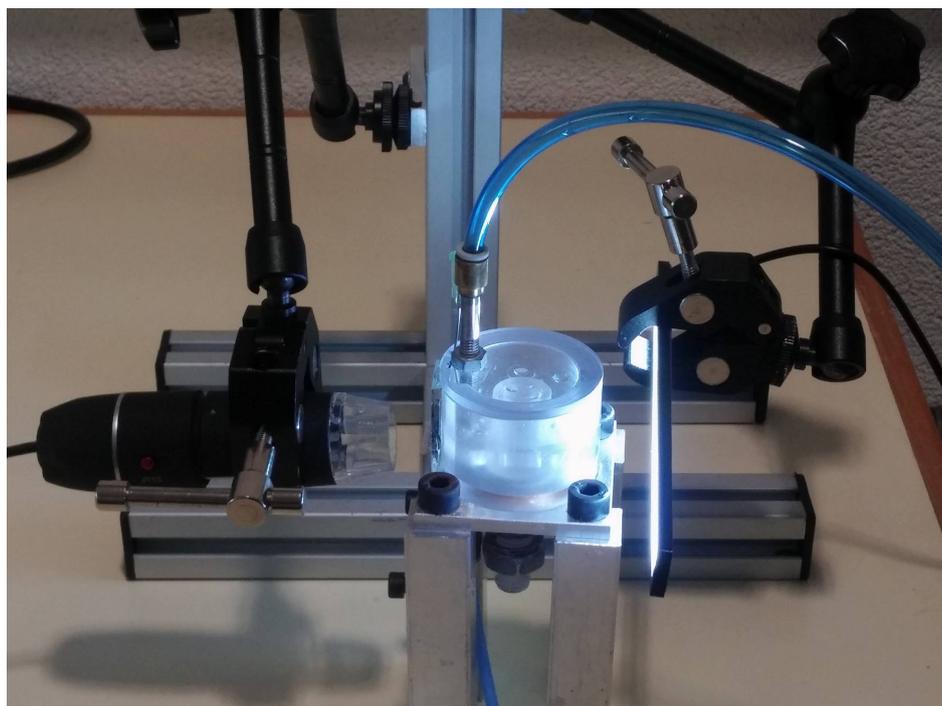


Figura 3.28: Disposição do armazém e iluminação de testes do protótipo

Os seguintes dados apresentados foram resultado de vários ensaios em que o resultado documentado, sob a forma de imagem, é o que maior número de vezes se sucedeu. No caso da geometria **C**, a figura apresentada foi a que permitiu tirar conclusões.

Teste 2.1 - Ensaio da geometria A



Figura 3.29: Resultado de teste da cavidade A

A cavidade **A** acolheu poucos folículos sendo a figura 3.29 a vista mais frequente ao longo dos ensaios. Contudo convém referir que, apesar dos resultados no teste realizado na secção 3.7.2 deste documento, neste ensaio nenhum folículo ficou danificado devido aos baixos valores de vácuo existentes no sistema quando comparados com os obtidos quando se testou com uma bomba de vácuo.

Teste 2.2 - Ensaio da geometria B



Figura 3.30: Resultado de teste da cavidade B

A cavidade **B** foi capaz de acolher todos os folículos durante os testes, permitindo uma boa imagem frontal para análise da quantidade de pêlos e qualidade do folículo. Num total de vinte ensaios com folículos diferentes, todos foram acolhidos corretamente, sendo que é de ressaltar que folículos com alguma gordura agregada (Figura 3.31) foram depositados, ficando na superfície do disco sendo facilmente auto-corrigidos para dentro da cavidade num instante temporal mínimo sem qualquer auxílio. Nos testes de saída o folículo saiu sem qualquer problema.



Figura 3.31: Folículo com camada de gordura adiposa agregada

A instabilidade que foi notada no segundo ensaio (Secção 3.7.2) não foi notada neste teste final à geometria. A instabilidade notada, provavelmente deveu-se à degradação do folículo por ter sido sujeito ao mesmo teste em todas as cavidades anteriores, sendo que a ordem de ensaios foi inversa, começando no H e terminando no A. Neste último teste, foram usados vários folículos sendo que nenhum foi degradado.

Teste 2.3 - Ensaio da geometria B.1



(a) B.1 - Vista frontal



(b) B.1 - Vista de topo

Figura 3.32: Resultado de teste da cavidade B.1

A cavidade **B.1** foi capaz de acolher a maioria dos folículos, contudo por três vezes, com diferentes folículos, estes acabaram por não entrar na cavidade (Figura 3.30), sendo que impossibilitariam qualquer tratamento de imagem por parte de um sistema de visão desenvolvido para quantificar a quantidade de pêlos por folículo.

Por os folículos terem sido utilizados poucas horas após a extração, a gordura agregada a algumas raízes ainda não se tinha degradado, levando a que estes folículos não fossem acolhidos corretamente. O peso na parte superior da raiz levou a que o folículo cai-se várias vezes na superfície do disco. Ao contrário do que aconteceu na cavidade **B**, o folículo não foi capaz de corrigir a sua posição sendo que acabou, por este motivo, ser excluído. O motivo por detrás desta falha, é o menor raio dado à aresta da superfície superior da cavidade.

Teste 2.4 - Ensaio da geometria C



Figura 3.33: Resultado de teste da cavidade C

A cavidade **C** foi capaz de receber metade dos folículos mas nunca de uma forma eficiente, isto é, acolhia-os com pouca profundidade. No entanto a outra metade, não chegava a entrar ficando à superfície do disco tal como demonstra a figura 3.33b. Deste modo, esta geometria não foi considerada como fiável para acolher folículos.

Teste 2.5 - Ensaio da geometria D



Figura 3.34: Resultado de teste da cavidade D

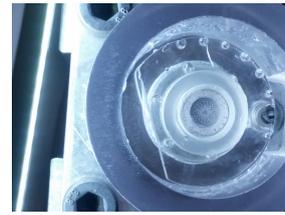
A cavidade **D**, à semelhança de outras, também não foi capaz de acolher grande parte dos folículos, sendo que estes acabavam sempre por ficar debaixo do disco. Das poucas vezes que foi capaz de acolher os folículos, fê-lo de forma deficiente. Estes não entravam no disco a uma profundidade aceitável, fazendo com que as raízes dos pelos continuassem dentro do tubo de entrada, o que dificultava a visualização numa vista frontal. O facto de estar em contacto com o tubo, também originava situações em que gotas de água distorciam a realidade captada pelo sistema de visão.

Teste 2.6 - Ensaio da geometria E

A geometria **E** é outro exemplo de geometria em que a maioria dos resultados não foram os melhores. Na grande maioria das vezes, os folículos não eram acolhidos e eram dirigidos para o tubo de saída que posteriormente os conduzia para o filtro de folículos, que estava antes do aparelho de *venturi*.



(a) E - Vista frontal



(b) E - Vista de topo

Figura 3.35: Resultado de teste da cavidade E

Com este ensaio final, e devido à elevada quantidade de repetições, foi possível identificar as principais falhas a que o processo pode estar sujeito. Um dos grandes problemas a ter em conta, é a possibilidade de o folículo ao ser acolhido no disco, acomodar-se numa posição lateral que, pelo sistema de visão impossibilite a visualização de todos os pêlos dos folículos levando a que muitas vezes a contagem seja mal realizada. No entanto, dado o número de vezes que tal se sucedeu, podemos afirmar que esses erros são quase insignificantes, tendo em conta a quantidade de folículos que se inserem em zonas desprovidas de cabelo do couro cabeludo dos pacientes.

Validação da saída dos folículos

Para validar a saída, colocaram-se dois folículos nas posições **B** e **B.1** visto serem de geometrias praticamente iguais em que a diferença notada entre ambos é apenas no processo acolhimento dos folículos com gordura agregada. De seguida inverteu-se o fluxo dos fluídos circulantes trocando as mangueiras de posição (a mangueira que liga no tubo superior pela que liga no tubo inferior). O folículo da cavidade **B** foi colocado na posição de trabalho, frente ao vidro e o vácuo foi ligado. O tubo superior é posicionado a 3 milímetros da superfície do disco, sendo esta medida sempre constante para qualquer tipo de operação a efetuar (receção, armazenamento e envio). Esta medida foi obtida após várias tentativas de conciliar a garantia de depositar o folículo na cavidade e o afastamento do tubo das raízes depositadas para evitar esconder as raízes dentro do tubo para posterior análise do sistema de visão.

Ao alimentar-se de soro a mangueira que liga ao tubo inferior, notou-se a formação de uma coluna de soro, passando pelo orifício na posição de trabalho até ao tubo superior. Esta coluna de soro, levou consigo o folículo sem causar qualquer perturbação ao que se encontrava na posição seguinte **B.1** (Figura 3.36).

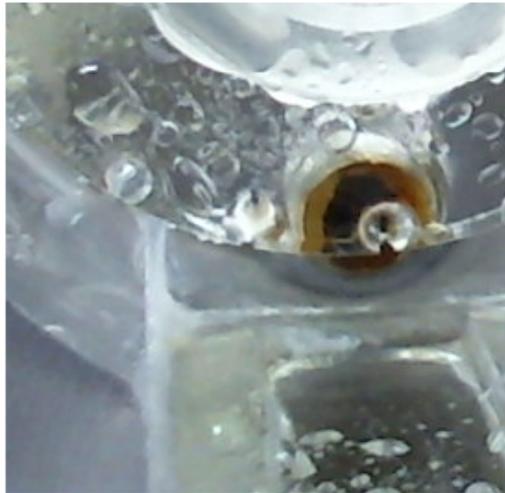
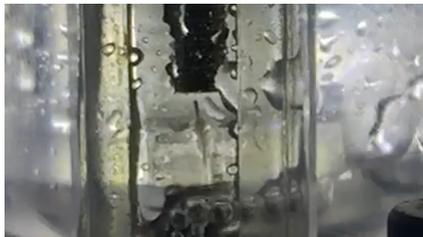
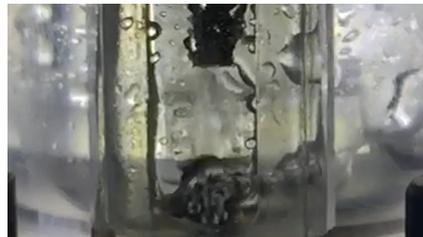


Figura 3.36: Vista de topo do folículo na cavidade **B.1** após o envio do folículo **B**

Após o envio foi confirmado que o folículo **B.1** não sofreu qualquer desposicionamento, tendo apenas sido hidratado para melhor conservação pelo soro proveniente da coluna formada.



(a) Folículo momentos antes do envio



(b) Formação da coluna de soro



(c) Envio do folículo para o exterior



(d) Continuação da coluna de soro após o envio

Figura 3.37: Resultado dos frames retirados de uma filmagem a 240 fps

Com estes ensaios, tanto o de acolhimento como o de envio, foi possível reforçar a confiança de que este conceito é viável e pode vir a ser uma solução para resolver problemas na

armazenagem e catalogação dos folículos, fazendo-o de forma mais eficiente.

Deste modo é possível concluir que a geometria **B** é a que mais garantias oferece, atualmente, para o processo de armazenamento de folículos.

3.7.5 Ensaio de identificação do n.º de pêlos/folículos

Para os ensaios de contagem de pêlos por unidade folicular, foi usada a rotina descrita no capítulo 5 para se obterem os resultados. Para este ensaio, foram catalogados os folículos, introduzidos no disco, e de seguida, analisados pela rotina desenvolvida em *MATLAB*.

Começou-se por colocar a câmara nivelada à altura do disco a uma distância de trabalho de 30 milímetros tal como é possível observar na figura 3.28. Uma segunda câmara onde os folículos eram catalogados inicialmente para posteriormente se comparar com as imagens obtidas do armazém também foi utilizada. Para a aquisição de imagens foi utilizada uma câmara de vídeo microscópica (*50-500X 0.3MP Digital USB*) com focagem manual (Figura 3.38) que fornecia informações ao *MATLAB* onde eram processadas.



Figura 3.38: câmara microscópica (*50-500X 0.3MP Digital USB*)

As propriedades aplicadas à câmara, no *MATLAB* foram testadas ao mesmo tempo que o sistema de iluminação. Resultando nos seguintes parâmetros:

- **Iluminação**
 - **Tipo de iluminação** - Régua de Leds brancos;
 - **Corrente da fonte** - 0.03 Amperes;
 - **Tensão da fonte** - 8.4 Volts;

- **Parâmetros da câmara**

- **Contraste** - 90 %;
- **Brilho** - 80 %;

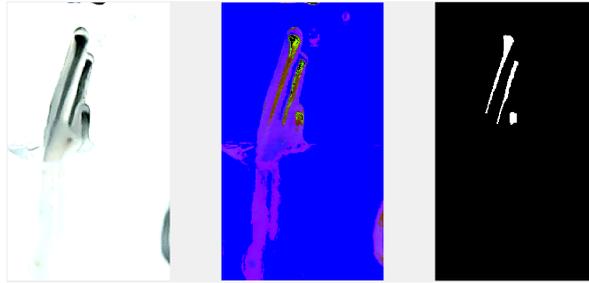
Para que o MATLAB assumira estas configurações as seguintes linhas de código foram introduzidas. Convém ter em consideração que para estes testes a câmara foi utilizada com a resolução máxima disponível.

```
1 %Adquirir imagem
2 vid = videoinput('winvideo', 2, 'YUY2_640x480');
3 src = getselectedsource(vid);
4 vid.FramesPerTrigger = 1;
5 vid.ReturnedColorspace = 'rgb';
6 src.Contrast = 90;
7 src.Brightness = 80;
```

Estando tudo a funcionar, desenvolveu-se uma rotina para agilizar o processo de captação de imagens após o folículo ter sido posicionado no disco. Esta começava por definir as regiões de interesse de forma a que a câmara pudesse ser ajustada à mão, visto não possuir *auto-focus*. Após uma pausa para que o folículo fosse aspirado e acolhido pelo folículo, é definido uma nova região de interesse. Por é gravado um ficheiro .png num diretório para guardar as imagens.

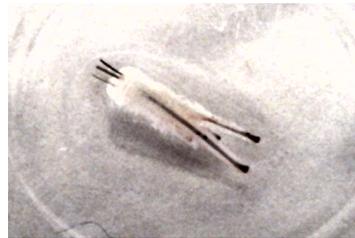
```
1 %Rotina de captação de imagens
2 preview(vid);
3 vid.ROIPosition = [0 0 640 480]; % Define o máximo de região de interesse
4 pause() % Espera pela chegada do folículo
5 vid.ROIPosition = [169 71 227 391]; %Definição da região de interesse
6 pause() % Ajusta a câmara caso necessário
7 start(vid);
8 stoppreview(vid);
9 imwrite(getdata(vid), 'C:\Users\...\B7.png'); %Guarda a imagem para ...
   posterior analise
```

Com a imagem já capturada, a mesma foi chamada por uma rotina *imanalizer*. Exemplo de resultados são as figuras 3.39, 3.40 e 3.41. Num total de dezanove imagens retiradas e testadas, quinze deram resultados corretos e cinco falharam. Estas cinco que falharam, deveu-se à rotina contabilizar pêlos partidos como raízes, ou simplesmente, por não conseguir distinguir alguns folículos que estavam demasiados próximos uns dos outros. Num total, obteve-se um total 78,95 % de sucesso.



(a) Tratamento dado à imagem capturada (esquerda), com análise por HSV (centro) para obter o resultado (direita).

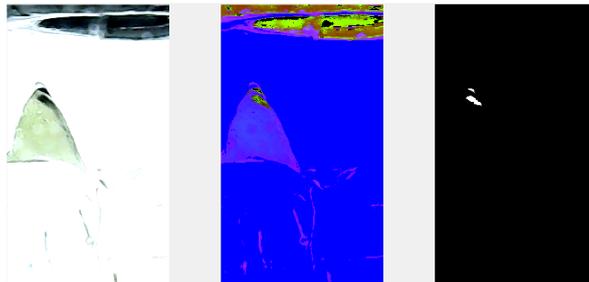
```
numberOfObject =
    3
```



(b) *Output do MATLAB*

(c) Folículo utilizado

Figura 3.39: Análise e resultado do tratamento de imagem a um folículo de 3 raízes



(a) Tratamento dado à imagem capturada (esquerda), com análise por HSV (centro) para obter o resultado (direita).

```
numberOfObject =
    2
```

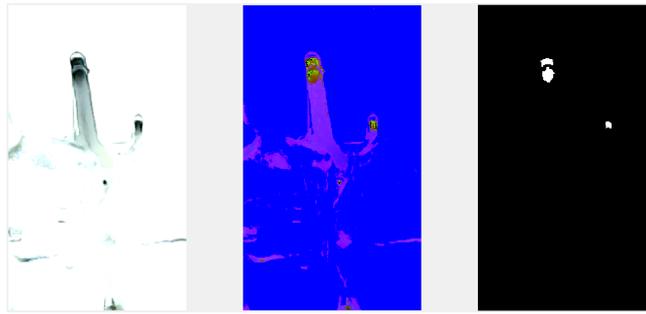


(b) *Output do MATLAB*

(c) Folículo utilizado

Figura 3.40: Análise e resultado do tratamento de imagem a um folículo de 2 raízes

Este resultado é bastante positivo, no entanto após uma conversa com especialistas na área médica, estes 20% de probabilidade de erro não são críticos quando se realizam implantes em áreas muito carentes de cabelo. No entanto, quando se trata de áreas perto do limite



(a) Tratamento dado à imagem capturada (esquerda), com análise por HSV (centro) para obter o resultado (direita).

```
numberOfObject =
    3
```



(b) *Output do MATLAB*

(c) Folículo utilizado

Figura 3.41: Análise e resultado do tratamento de imagem a um folículo de 3 raízes

da linha de cabelo (exemplo: linha de pêlos que delimita a testa do cabelo), a marquem de erro tem que ser próxima de zero. Nesta área os únicos folículos implantados são os de uma raiz (Figura 4.1).

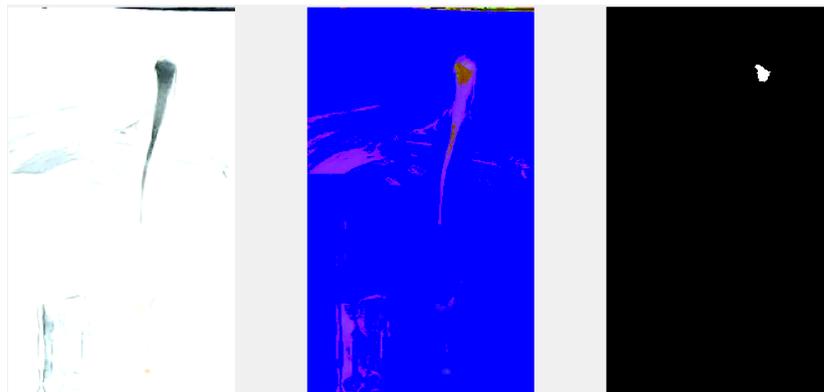


Figura 3.42: Folículo de uma raiz

Deste modo, o programa tem que ser mais dinâmico e ajustável ao paciente, prevendo:

- Pêlos partidos;
- Existência de cabelos brancos;
- Diferentes colorações de pêlos como loiro, ruivo entre outros;

- Diferentes pigmentações da pele bem como a existência de sangue;
- Existência de uma maior massa gorda em volta do folículo;
- Existência folículos fora do campo de visão da câmara (exemplo: pêlo atrás de outro).

Com estes resultados, podemos de forma segura que este sistema é funcional e apresenta garantias de bom funcionamento, se adaptado corretamente, num sistema de transplantação capilar.

Capítulo 4

Projeto mecânico

Neste capítulo será apresentado uma proposta de produto final que incluirá o módulo de armazenamento, de rotação do eixo principal e o suporte do sistema. Aqui serão descritos os processos de fabrico bem como deverá ser montado todo o sistema.

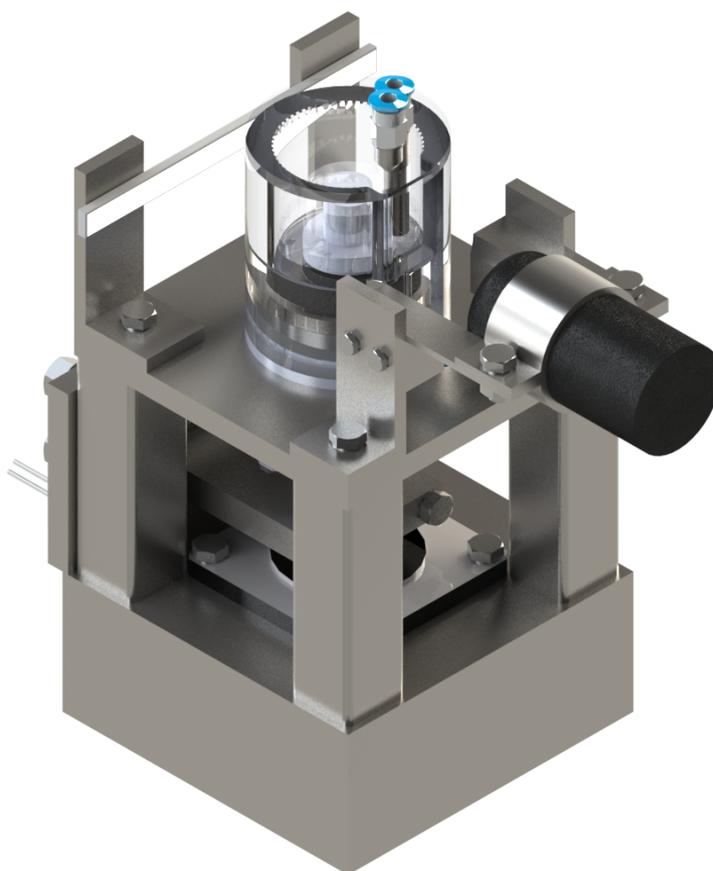
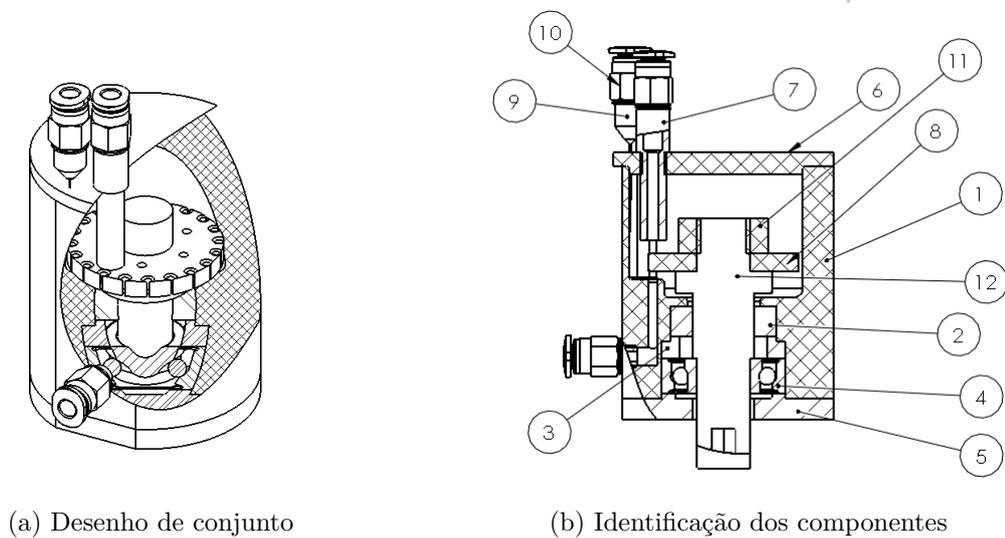


Figura 4.1: Render da proposta de produto final

4.1 Módulo de armazenamento

Tendo em conta os resultados obtidos no decorrer desta dissertação de mestrado, foi possível modelar uma proposta do que deverá ser o módulo de armazenamento como produto, sendo este apresentado sob a forma de desenho de conjunto e montagem. Os desenhos de definição dos componentes estão em anexo (A).

Um desenho de conjunto implica que todas as peças pertencentes a uma máquina ou mecanismo sejam apresentadas de forma visível na posição correta de funcionamento. Com base nesta premissa o módulo de armazenamento é apresentado, na sua configuração de funcionamento na figura 4.2a, em que todos os elementos são visíveis.



(a) Desenho de conjunto

(b) Identificação dos componentes

Figura 4.2: Módulo de armazenamento

Tabela 4.1: Lista de componentes do módulo de armazenamento

ITEM N.	COMPONENTE	DESCRIÇÃO	Quantidade.
1	Recipiente		1
2	Retentor	DIN3761 - 12 X 22	1
3	Espaçador		1
4	Rolamento	S7001 ACE/P4A	1
5	Tampa Baixo		1
6	Tampa Topo		1
7	Tubo Superior		1
8	Disco		1
9	Agulha		1
10	Conector	QSM - M5X4	3
11	Fixador do Disco		1
12	Veio		1

Para o fabrico deste módulo é recomendado que o recipiente seja em acrílico bastante polido para evitar a adição de mais componentes como a placa de vidro utilizada a quando o processo de testes com o protótipo. Caso o polimento interior não seja suficiente para haver um bom visionamento para o interior, a placa de vidro deverá ser adicionada. No entanto, o filme hidrofóbico Z₅ deverá estar sempre presente na superfície da face plana interior do recipiente.

O disco deverá ser cortado a laser de uma placa de acrílico sendo, posteriormente, maquinado num centro de maquinagem as geometrias das cavidades que irão acomodar os folículos. A peça de fixação do disco ao veio também deverá ser cortada a laser e roscada posteriormente. Estes requisitos devem-se à necessidade de dotar as peças de boas propriedades de transmitância luminosa, processos estes, utilizados no processo de fabrico do protótipo que provocaram melhorias consideráveis nos resultados nos testes de visão.

A agulha utilizada para limpar o recipiente por jato de ar, deve ser a adaptação de uma agulha normal de 0.5 milímetro de diâmetro exterior dobrada manualmente para a posição desejada. Já as tampas e o espaçador devem ser maquinados num centro de maquinagem em alumínio.

Para garantir a estanquidade, pela base inferior, é acoplado ao veio um retentor capaz de permitir um movimento de rotação sem deixar que existam fugas de soro ou ar. Os restantes elementos ligantes ao recipiente, serão maquinados com medidas precisas o que minimiza as fugas de ar.

Para a montagem, tal como demonstrado na figura 4.3, deve-se começar por montar o disco no veio seguindo-se a peça de fixação para garantir que o disco anda sempre solidário com o veio e que a sua orientação nunca é perdida.

De seguida o retentor é inserido na parte inferior do recipiente seguindo-se o espaçador, o rolamento e por fim a tampa. Após inserida a tampa baixo, o veio é inserido no recipiente,

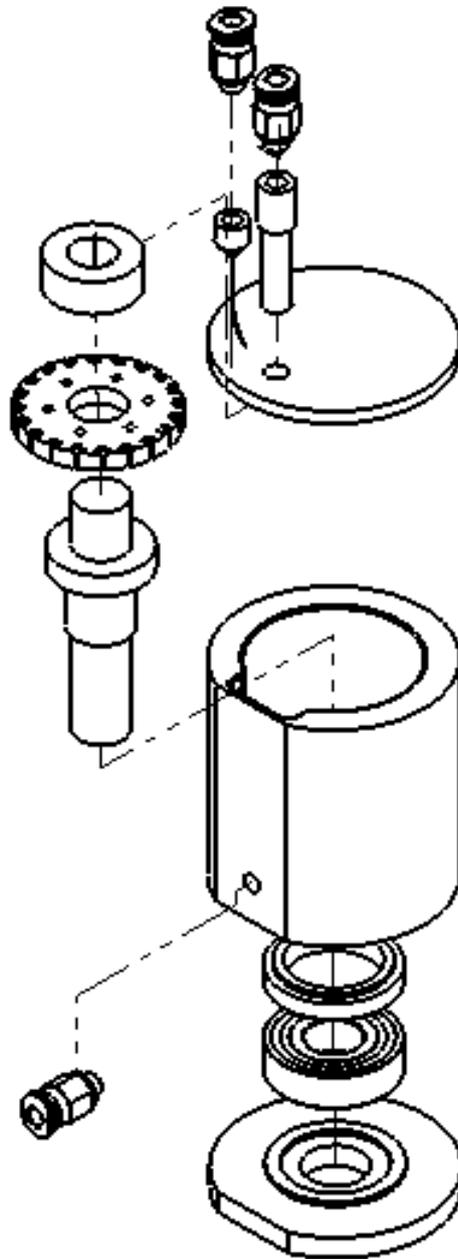


Figura 4.3: Desenho de montagem

seguinto-se a tampa de topo, o tubo superior e a agulha. Por fim, os conectores das mangueiras são roscados no s seus respectivos lugares.

Para a garantir a coaxialidade entre o Tubo superior e a cavidade do disco, a luminosidade do Led deve ser reduzida para as arestas da cavidade poderem ser visíveis. Após a conseguida a visualização das arestas, de forma automática, o motor de passo reposiciona a cavidade de forma a ficar com o eixo central da cavidade a coincidir com o do tubo superior. Após esta correção automática do armazém, o programa assume a nova posição corrigida como sendo a primeira posição de trabalho. Visto que cada passo do motor corresponde a 0.9 graus, o risco de a posição de trabalho não coincidir exatamente com o posicionamento desejado não é de todo preocupante. Uma vez que a cavidade estar deslocada 0.9 graus no sentido horário ou anti-horário não levará a que o sistema deixe de funcionar como desejado. Esta metodologia leva a um aproveitamento do sistema de visão para corrigir um problema que mecanicamente não é facilmente corrigido.

4.2 Módulo de rotação do eixo principal e suporte do sistema

O suporte do módulo de armazenamento será apresentado em conjunto com o acionamento do veio por ser um elemento ligante entre ambos os módulos.

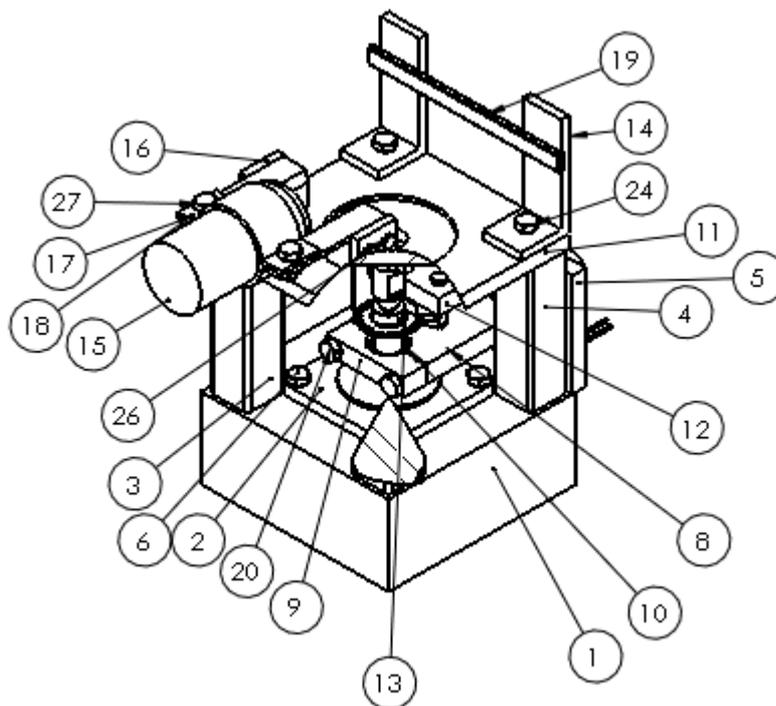


Figura 4.4: Desenho de conjunto do suporte

O módulo de rotação é composto por um motor de passo em que o principal requisito a ser respeitado é o passo de 0.9 graus, sendo necessários 20 passos para se concluir a rotação de uma cavidade para a seguinte. Esta rotação será monitorizada por um encoder absoluto capaz de registar o correto posicionamento da cavidade. O motor selecionado para este produto foi

Tabela 4.2: Lista de componentes do suporte e módulo rotação

ITEM	COMPONENTES	OBSERVAÇÃO	QT.
1	Base		1
2	Motor de passo	CAD representativo	1
3	Apoio Frontal		2
4	Apoio Traseiro		2
5	Suporte Lateral		1
6	Parafuso de Cabeça Hexagonal	ISO 4017 - M5 x 35-N	4
7	Parafuso de Cabeça Hexagonal	ISO 4017 - M8 x 20-N	4
8	Suporte de Rolamento		1
9	Suporte de Rolamento		1
10	Rolamento	71800 CD/P4 (SKF)	1
11	Base Superior		1
12	Suporte Encoder		1
13	Encoder Óptico		1
14	Cantoneira câmara		1
15	câmara		1
16	Cantoneira câmara	8.4 V e 0.03 A	2
17	Suporte baixo câmara		1
18	Suporte topo câmara		2
19	LED		1
20	Parafuso de Cabeça Hexagonal	ISO 4017 - M5 x 25-N	4
21	Parafuso de Cabeça Hexagonal	ISO 4017 - M5 x 16-N	2
22	Parafuso de Cabeça Hexagonal	ISO 4017 - M3 x 20-N	2
23	Porca	ISO - 4035 - M3 - N	2
24	Parafuso de Cabeça Hexagonal	ISO 4017 - M5 x 20-N	2
27	Parafuso de Cabeça Hexagonal	ISO 4017 - M5 x 30-N	2
28	Porca	ISO - 4035 - M5 - N	2
29	Pino	ISO 8734 - 3 x 10 - A - St	1
30	Encaixe motor rolamento		1
31	Encaixe encoder veio		1
32	Pino de fixação		1

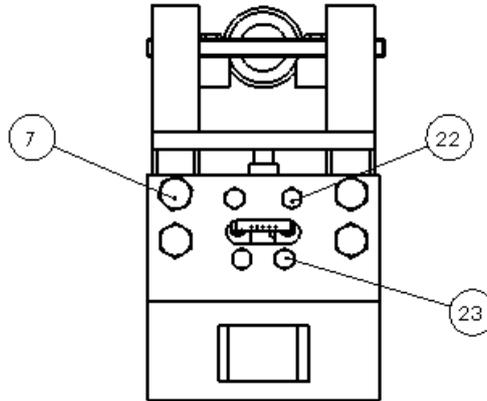


Figura 4.5: Vista de trás

um motor de passo de 24 volts e 0.6 amperes com um *step angle* de 0.9 graus. O fabricante é a *NMB Technologies Corporation* e modelo 14PY.

A câmara utilizada deverá possuir igual resolução que a que foi utilizada no estudo do protótipo. Caso contrário, terá que ser adaptado o programa à nova resolução da câmara.

As restantes peças deverão ser em alumínio para evitar corrosão, diminuir peso e preço (quando comparado com o aço inox).

A montagem do suporte foi idealizada de forma a ser o mais simples possível e, ao mesmo tempo, garantir o suporte do armazém bem como a coaxialidade entre o veio e o motor de passo. Para tal a montagem terá que respeitar os esquemas das figuras 4.6 e 4.8 sendo esta a única forma de montar o suporte.

Em relação à ligação do veio principal ao motor, esta é realizada por intermédio de duas peças que se acoplam por ligação roscada de aperto fino (Figura 4.7) e por um encaixe de secção quadrada, ao veio, com aperto por intermédio de um pino. Ambos os apertos serão efetuados por intermédio de chaves de boca 8, 9 e 4 (pino).

Na parte superior, a câmara e o Led deverão ser montados de forma a que, tanto o eixo central da câmara como a linha média do LED (eixo paralelo à superfície superior do LED), se encontrem coincidentes com o plano da superfície superior do disco de armazenagem.

Ao respeitar-se todas as indicações mencionadas anteriormente, do ponto de vista mecânico, o produto deverá estar apto a funcionar.

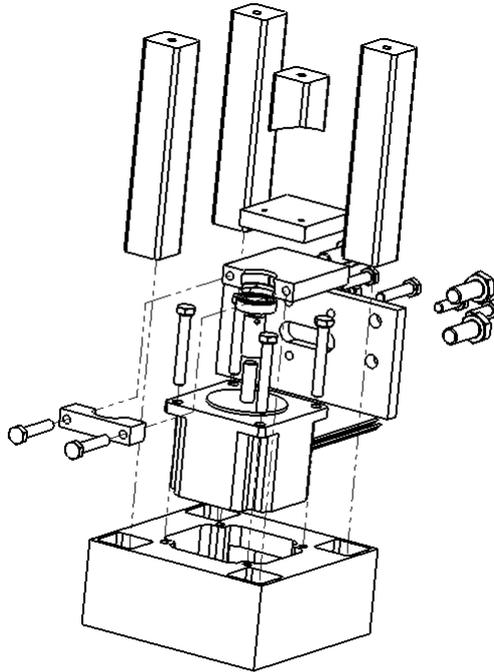


Figura 4.6: Desenho de montagem do suporte e motor de passo

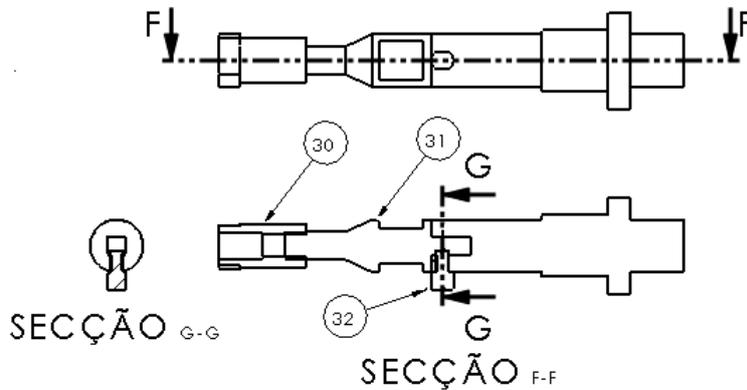


Figura 4.7: Desenho de montagem do suporte

4.3 Sistema de Vácuo

O dimensionamento do sistema de vácuo só será possível ser feito tendo em conta o modo de funcionamento da ferramenta que se utilizar. Deste modo não é de todo um requisito para a conclusão deste projeto. No entanto foram identificados alguns requisitos para o correto funcionamento do produto que devem ser respeitados no caso de um eventual, futuro, dimensionamento para aplicação real:

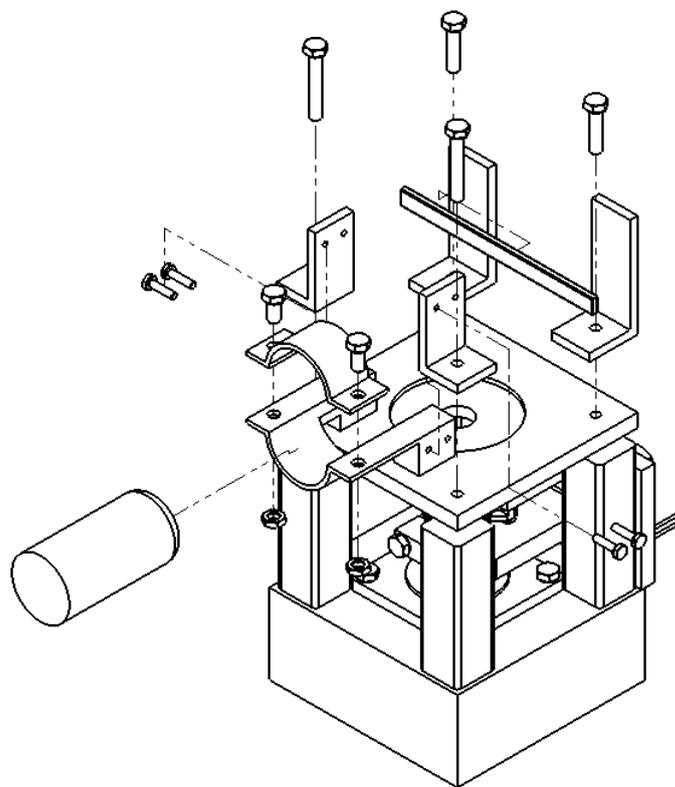


Figura 4.8: Desenho de montagem

- O diâmetro da mangueira que liga na superfície lateral deverá ter um mínimo de 2 milímetros e um máximo de 5 mm, sendo que durante os testes a mangueira tinha 4 milímetros. Este intervalo é aquele que mais garantias dá para um bom deslocamento do folículo garantindo a orientação do mesmo dentro das tubagens;
- Entre o recipiente e o dispositivo de vácuo deverá existir um filtro semelhante ao utilizado durante os testes no capítulo 3.7.1 representado na figura 3.11a;
- O dispositivo de vácuo utilizado terá que ser o mais silencioso possível para garantir uma aceitação por parte do cliente, pois o excesso de ruído pode levar à rejeição por parte do cliente.

Respeitados estes requisitos, o sistema de vácuo será facilmente dimensionado dependendo apenas da ferramenta de implante e extração utilizada pelo cliente.

Capítulo 5

Desenvolvimento de Algoritmo de identificação de pelos/folículos

Os sistemas de visão destinam-se geralmente à garantia e controlo de qualidade. Estes sistemas promovem uma análise baseada em imagens que fornecem informações, do que se encontra dentro do campo de visão, que serão úteis para identificar características dos objetos sujeitos a análise. No caso deste trabalho, a necessidade é ter um sistema de contagem do número de raízes por folículo para catalogação. Posteriormente também haverá a necessidade de avaliar a qualidade do folículo, não sendo isto, desenvolvido no decorrer desta dissertação de mestrado.

5.1 Metodologia e desenvolvimento da rotina

Para o desenvolvimento de uma rotina de análise das imagens extraídas pela câmara, testou-se com variados sistemas de iluminação limpar a imagem o máximo possível, sem alterar as propriedades da câmara de forma a eliminar o máximo possível o ruído envolvente. A ideia inicial, foi ter uma régua de Leds de luz branca por trás do recipiente de forma a que o pêlo (normalmente preto e opaco) criasse uma imagem, a ser captada pela câmara, totalmente branca salientando apenas os objetos escuros (hastes dos pêlos e raízes). O tratamento posterior seria por RGB com identificação das geometrias pela cor, o que se revelou uma dificuldade devido à presença de matéria adiposa envolvendo as raízes, sangue e diferentes pigmentações de pele. Contudo, após alguma análise decidiu-se realizar a análise por HSV que ofereceu melhores garantias de bons resultados (Figura 5.1).

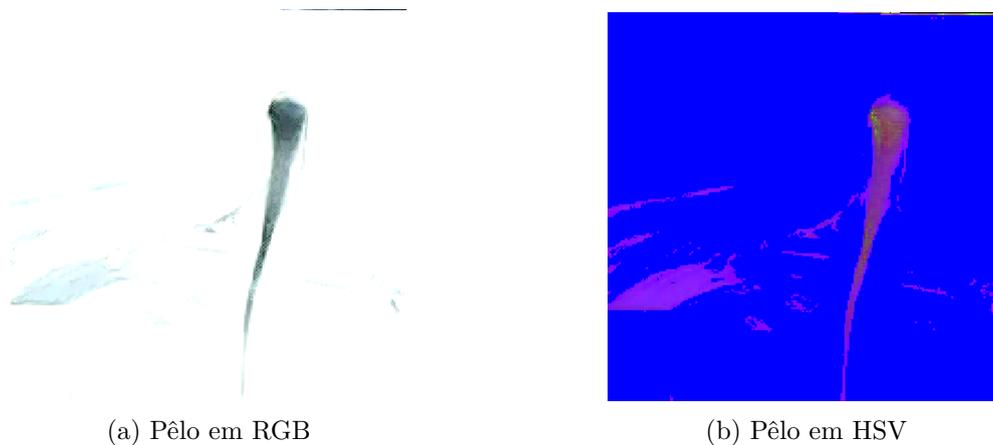


Figura 5.1: Comparação de RGB e HSV

5.1.1 Introdução ao HSV

HSV é a abreviatura para um método de organização das cores pelas componentes de tonalidade (*Hue*), saturação (*Saturation*) e valor (*Value*) (Figura 5.2). Inventado por *Alvy Ray Amith* nos anos setenta, caracteriza uma transformação não linear do sistema de cores RGB. A tonalidade verifica o tipo de cor, abrangendo todo o espectro de luz visível, desde o vermelho até ao violeta. Por outro lado a saturação, também chamada de grau de pureza da cor, especifica a qualidade de uma tonalidade pelo grau de mesclagem com a cor branca. O valor define a percentagem de brilho da imagem, variando entre 0 % e 100 % onde 0% origina uma imagem negra e 100% uma imagem completamente branca.

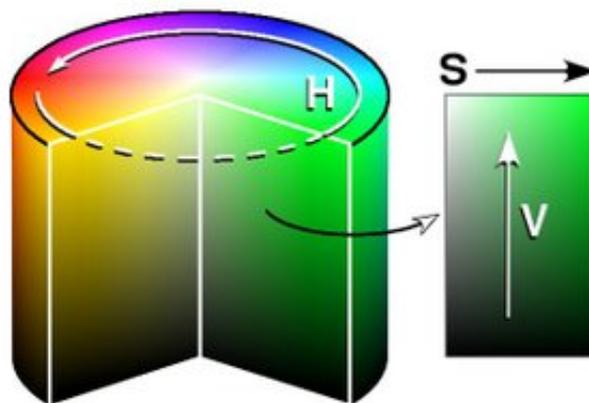


Figura 5.2: Representação do HSV

O MATLAB, software utilizado para desenvolver a rotina de análise, após dada a instrução de leitura de uma imagem, decompõe-na numa hipermatriz de três matrizes, de igual tamanho em que as propriedades anteriormente mencionadas estão separadas individualmente. Ao

decompor a figura 5.3a nas suas componentes, utilizando o comando *imshow(...)* foi possível ter-se uma ideia do tipo de dados estão disponíveis para posterior filtragem.

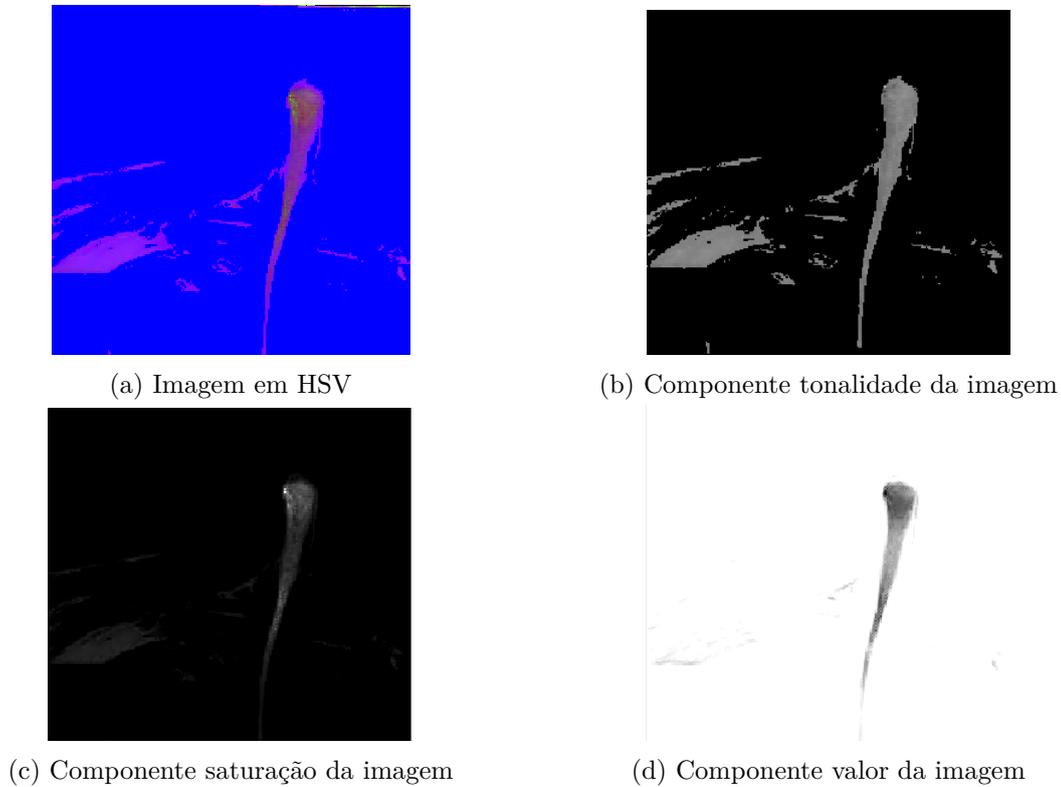


Figura 5.3: Visualizaçã das diferentes componentes do HSV

5.1.2 Desenvolvimento da rotina

A ideia de desenvolver a rotina para identificaçã prende-se com a necessidade de fazer uma contagem do número de raízes existentes no folículo. Deste modo, a ideia por de trs do até agora apresentado,  a aquisiçã de imagens tal como apresentado na secçã 3.7.5 para posterior análise por parte de uma funçã. Esta funçã foi denominada por *imanalizar(..)* tendo como variável de entrada uma *string* com o nome do ficheiro e como *output* uma figura com o resultado e uma variável que representa o número de raízes existentes no folículo.

```
1 %Ler e separar a imagem para HSV
2 I = imread(dir);
3 A=rgb2hsv(I);
4 AA= repmat(zeros(size(A,1),size(A,2)),[1 1 3]);
5 AA(:,:,1) = A(:,:,1);
6 AA(:,:,2) = A(:,:,2);
7 AA(:,:,3) = A(:,:,3) > 0.51;
8 imtrab=AA(:,:,3);
```

Como é possível observar neste excerto da rotina, a função começa por importar o ficheiro com o nome introduzido, sob a forma de *string* e guardá-lo no *workspace* na forma de uma hipermatriz com 391x227x3 de dimensão. É com base nesta variável **I**, que todo o tratamento de imagem é realizado.

Como explicado anteriormente, a metodologia utilizada é uma análise em HSV, por esse motivo a variável **A** foi criada para converter a imagem de RGB (formato inicial) para HSV. Após a conversão, as componentes foram separadas em diferentes matrizes dentro de uma hipermatriz **AA** criada para guardar toda a informação:

- $AA(:,:,1) = A(:,:,1)$; - Matiz (tonalidade)
- $AA(:,:,2) = A(:,:,2)$; - Saturação
- $AA(:,:,3) = A(:,:,3) > 0.51$; - Valor (brilho)

A terceira matriz apenas grava os valores que sejam superiores a 51% de brilho. Este valor foi determinado após várias tentativas de obter o valor que mais pormenores mostrava nas imagens, isto é, foi determinado manualmente por tentativa/erro. Esta terceira matriz, apresenta os seus elementos com valores compreendidos entre 0 e 1, levando a que um comando de binarização seja desnecessário. Deste modo criou-se a variável **imtrab** onde se isolam os valores da terceira matriz já separados por percentagem (Primeira filtragem). A matriz binarizada é necessária para possibilitar a implementação de diversos filtros que levarão ao resultado final.

```

1 %Segunda filtragem
2     SE=ones(3);
3     IM2 = imdilate(imtrab, SE);

```

Após o processo de separação das componentes e um filtro inicial (filtro dos 51 %), foi criado um elemento estruturante (**SE**), obtido também por tentativa/erro, e aplicado ao comando *imdilate*. Este comando realiza uma dilatação binária dos objetos presentes na variável **imtrab** tendo em conta a o elemento estruturante previamente criado. Para além deste comando, também se testou o comando *imopen*, *imclose*, sendo que o *imdilate* foi aquele que melhores resultados originou (Figura 5.4).

Posteriormente, foram introduzidas duas alterações manuais. Uma delas necessárias para limitar a área de análise, e outra que eliminar ruído, proveniente de gotas de soro existentes por deficiente limpeza do vidro. Erro esse que não tem qualquer influência nos resultados visto que a área da imagem foi manipulada não terá, em nenhum momento, raízes de folículos. Com esta filtragem manual, também foram limpos os bordos e inverteram-se os valores da matriz. Esta inversão permitiu trocar os valores de branco para pretos e vice-versa, o que possibilita a identificação dos objetos por parte do software.

```

1     IM2(214:391, 10:227)=1;
2     IM2(1:67, 165:227)=1;
3     IM3 = imclearborder(~IM2);

```

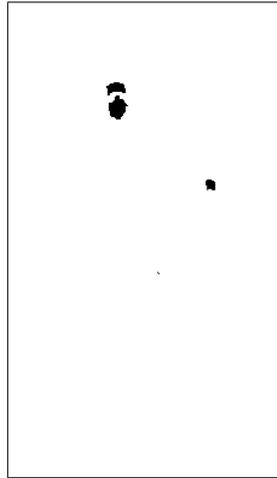


Figura 5.4: Resultado da filtragem de um folículo de 3 raízes

Com a maioria dos ruídos filtrados, ainda existiam alguns por eliminar. Desse modo, após a análise de um banco de imagens, foram determinados certos parâmetros da imagem, tal como a área dos objetos, o perímetro, o diâmetro equivalente entre outros. Estes dados foram extraídos das imagens e introduzidos num ficheiro *Excel*, onde foram calculados os máximos, mínimos, médias e desvios padrão de todas as componentes (Tabelas 5.1 e 5.2).

Tabela 5.1: Resultado da análise do *Excel* Parte 1

	Area	Comprimento do maior Eixo	Comprimento do menor eixo	Excentricidade
Máximo	1237	184.2	20.02	0.99
Mínimo	11	6.65	2.62	0.43
Média	150	20.97	10.28	0.91
Desvio Padrão	309.65	45.17	3.94	0.17

Tabela 5.2: Resultado da análise do *Excel* Parte 2

	Orientação	Diâmetro Equivalente	Perimetro
Máximo	86.91	39.69	339.97
Mínimo	-86.43	3.74	13.01
Média	-34.26	13.82	52.40
Desvio Padrão	63.06	8.93	84.34

Com base nas tabelas anteriormente apresentadas, um terceiro filtro foi criado, de forma a garantir que os objetos que permaneciam na imagem eram as raízes do folículo. Os valores introduzidos nos filtros foram ajustados às imagens tendo em conta os valores das tabelas. A seleção dos filtros utilizados foi feita tendo em conta os valores de desvio padrão e também

por tentativa/erro. Os que proporcionaram melhores resultados foram os selecionados para permanecer na rotina.

```
1 %Terceira filtragem
2     % Filtrar com base nas propriedades
3     IM3 = bwpropfilt(IM3, 'Eccentricity', [0.4298, 0.9983]);
4     IM3 = bwpropfilt(IM3, 'MinorAxisLength', [2.5, 21]);
5     IM3 = bwpropfilt(IM3, 'EquivDiameter', [3, 40]);
6     IM3 = bwpropfilt(IM3, 'Area', [10, 1300]);
7     IM3 = bwpropfilt(IM3, 'Perimeter', [13.009, 340]);
```

Para finalizar, a rotina cria uma figura com três subfiguras onde se mostra a imagem inicial, uma segunda que mostra a conversão de RGB para HSV e uma terceira onde o resultado final é apresentado sob a forma de imagem e texto numérico.

```
1 %Mostragem dos resultados
2     fig = figure('Name',dir,'NumberTitle','off');
3     set (fig, 'Units', 'normalized', 'Position', [0,0,1,1]);
4     subplot(1,3,1)
5         imshow(I)
6     subplot(1,3,2)
7         imshow(AA)
8     subplot(1,3,3)
9         imshow(IM3)
10
11     [labeledImage, numberOfObject] = bwlabel(IM3);
12     X=num2str(numberOfObject);
13     text='Numero de raizes no foliculo: ';
14     disp([text, X])
```

No anexo B, é apresentada a função completa com os respectivos comentários aos comandos utilizados.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões e Considerações

No decorrer deste trabalho, várias conclusões foram tiradas. Desde já, a mais importante de todas, é que o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado teve resultados positivos resultando numa validação de um conceito gerado pelo autor deste documento. O conceito é viável e adaptável, como por exemplo a um sistema robotizado de transplantes capilares. Para além deste sucesso a nível resultado, no decorrer dos ensaios várias conclusões e comentários devem ser mencionados:

- **Utilização do soro fisiológico para circulação dos folículos** - O soro facilita a circulação dentro das tubagens do sistema evitando que os folículos fiquem alojados nas paredes. Este também é importante para a hidratação dos folículos para que estes sejam saudavelmente armazenados;
- **Não precisa de valores de vácuo elevados** - Por ser utilizado o soro, o armazém não precisa de valores vácuo elevados para funcionar, quer no acolhimento, quer no envio. Isto permite evitar a degradação dos folículos tal como a secagem dos mesmos por o caudal necessário de vácuo ser baixo.
- **Temperatura do soro de conservação de aproximadamente 4 °C** - Esta conclusão foi obtida após uma série de questões colocadas a uma clínica de transplantes capilares entre as quais, o método de conservação deles atualmente entre a extração e o implante.
- **O sistema deve possuir mais que uma câmara para catalogar os folículos** - Por uma questão de perspetiva, deve existir uma segunda câmara num diferente ângulo de visão para evitar erros de contagem devido à ocultação de raízes umas atrás das outras.
- **A superfície plana do recipiente (ou do vidro caso seja preciso aplicar no produto final) deve possuir propriedades hidrofóbicas** - Esta característica da superfície é essencial para garantir um plano limpo de ruído oriundo das difrações de luz originadas pelas gotas de soro. Esta superfície serve para, após o jato de ar, utilizado para limpar a superfície, garantir que não permanecem gotículas de soro no campo de visão.

- **A face lateral do disco deve estar polida** - Esta conclusão foi tirada quando comparados os resultados preliminares das imagens provenientes de um disco sem polimento lateral, e um disco cortado numa máquina de corte a laser (completamente polido). A transmitância luminosa do acrílico influencia no ruído que é obtido nas imagens captadas pela câmara.
- **No momento do envio dos folículos não há perturbações nos folículos adjacentes** - No momento de envio, quando o vácuo é ligado, o soro forma uma coluna de soro desde a face inferior do disco, passando pelo interior da cavidade até ao tubo superior sem afetar os folículos nas cavidades adjacentes. O único efeito, neste caso com consequências positivas, é o humedecer os folículos quando o soro, que não é aspirado, retorna à base do recipiente por gravidade.
- **A análise pelo sistema de visão deve ser realizada por HSV** - A análise por HSV, permite identificar os objetos a preto desde que possuam uma determinada intensidade de cor. Esta propriedade facilita a identificação e filtração dos objetos quando comparados com outros tipos de imagem, tal como RGB.
- **Autoclave não é um método possível para esterilização do recipiente** - O composto Z_5 , pelas suas propriedades físicas, não pode ser esterilizado com recurso ao autoclave. Tanto este método de esterilização como a aplicação de álcool etílico, destroem as ligações covalentes do composto, degradando as características hidrofóbicas do mesmo. O método recomendado é a esterilização por raios gama, sendo que também é possível fazê-lo por luz ultra-violeta.
- **Garantia de posicionamento** - Utilizar precisão do sistema de rotação do veio, com o auxílio de um *resolver*, para *feedback*, de modo a garantir o correto posicionamento das cavidades na posição de trabalho.

6.2 Trabalhos Futuros

No âmbito deste tema, é sugerido o desenvolvimento de uma rotina para a avaliação da qualidade dos folículos. Esta avaliação deve ter em consideração o comportamento dos folículos após a extração, sendo necessário realizar um estudo fisiológico temporal da qualidade dos mesmos. Com esses dados obtidos será possível visualmente aferir a apetibilidade para serem implantados nas regiões carentes de cabelo. Após o desenvolvimento desta rotina, deve-se realizar, com um maior número de amostras, os mesmos testes efetuados neste documento para verificar a fiabilidade, tanto da rotina *imanager* como a sugerida como trabalho futuro para, caso necessário, serem melhoradas.

Depois de realizados os trabalhos mencionados anteriormente, a adaptação a uma ferramenta pode finalmente ser efetuada, levando a que o sistema de vácuo seja dimensionado. O vácuo, no momento da saída, é sugerido que seja realizado por intermédio de um *venturi* para aproveitar tanto o vácuo para o retirar do disco como a compressão para o impelir para a ferramenta de implante.

Bibliografia

- [1] F. Rodrigo, G. Marques, A. Mayer-da Silva, and L. Filipe, *Dermatologia: Ficheiro Clínico e Terapêutico*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.
- [2] J. Esteves, A. Batista, and F. Rodrigo, *Dermatologia: Ficheiro Clínico e Terapêutico*, 2nd ed., 1992.
- [3] Svenson. (2015) Alopecia hereditária: a genética materna é determinante. [Online]. Disponível:
<http://quedadecabelo.svenson.pt/aloppecia-hereditaria-a-genetica/-materna-e-determinante/>
- [4] W. Unger, R. Shapiro, R. Unger, and M. Unger, *Hair Transplantation, Fifth Edition*. Taylor & Francis, 2010.
- [5] H. JT, “Transverse microscopic anatomy of the human scalp: A basis for a morphometric approach to disorders of the hair follicle,” *Archives of Dermatology*, vol. 120, no. 4, pp. 449–456, 1984.
- [6] B. L. LIMMER, “Elliptical donor stereoscopically assisted micrografting as an approach to further refinement in hair transplantation,” *The Journal of Dermatologic Surgery and Oncology*, vol. 20, no. 12, pp. 789–793, 1994.
- [7] R. M. BERNSTEIN and W. R. RASSMAN, “Follicular transplantation,” *Dermatologic Surgery*, vol. 23, no. 9, pp. 771–784, 1997.
- [8] R. M. Bernstein, W. R. Rassman, D. Seager, R. Shapiro, J. E. Cooley, O. T. Norwood, D. B. Stough, M. Beehner, J. Arnold, B. L. Limmer *et al.*, “Standardizing the classification and description of follicular unit transplantation and mini-micrografting techniques,” *Dermatologic surgery*, vol. 24, no. 9, pp. 957–961, 1998.
- [9] “GetFUE hair clinics,” [Online]. Disponível:
<http://www.getfue.com/hair-transplantation/choi-implanter>, Acedido: 2016-02-18.
- [10] A. Rook, D. S. Wilkinson, and F. J. G. Ebling, *Textbook of dermatology*. Wiley-Blackwell, 1968, vol. 1.
- [11] T. Fitzpatrick, A. Eisen, K. Wolff, I. Freedberg, and K. Austen, “Dermatology in general medicine 4 mcgraw-hill inc,” *New York*, 1993.
- [12] K. H. Safavi, S. A. Muller, V. J. Suman, A. N. Moshell, and L. J. Melton, “Incidence of alopecia areata in olmsted county, minnesota, 1975 through 1989,” in *Mayo Clinic Proceedings*, vol. 70, no. 7. Elsevier, 1995, pp. 628–633.

- [13] G. Perini, C. Veller Fornasa, R. Cipriani, A. Bettin, F. Zecchino, and A. Peserico, "Life events and alopecia areata," *Psychotherapy and psychosomatics*, vol. 41, no. 1, pp. 48–52, 1984.
- [14] E. A. Rivitti, "Alopecia areata: revisão e atualização alopecia areata: a revision and update," *An Bras Dermatol*, vol. 80, no. 1, pp. 57–68, 2005.
- [15] M. Reinhold, "Relationship of stress to the development of symptoms in alopecia areata and chronic urticaria," *British medical journal*, vol. 1, no. 5176, p. 846, 1960.
- [16] M. Gouvea. (2015) Robôs colaborativos: a nova era da produção industrial. [Online]. Disponível:
<http://produza.ind.br/tecnologia/robos-colaborativos/>
- [17] R. R. I. Association. (2013) Robotics industry insights. [Online]. Disponível:
<http://www.robotics.org>
- [18] K. R. GmbH. Lbr iiwa 7 r800. [Online]. Disponível:
http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial_robots/sensitiv/lbr_iiwa_7_r800/start.htm
- [19] F. d. S. Abreu, "Qfd-desdobramento da função qualidade-estruturando a satisfação do cliente," *Revista de Administração de Empresas*, vol. 37, no. 2, pp. 47–55, 1997.
- [20] L. C. Cheng, "Qfd em desenvolvimento de produto: características metodológicas e um guia para intervenção," *Revista Produção Online*, vol. 3, no. 2, 2003.
- [21] P. V. GmbH. Technical data - pascal 2005, sd version, 1-phase motor, 90-132 v. [Online]. Disponível:
<https://www.pfeiffer-vacuum.com/en/products/rotary-vane-pumps/two-stage/pascal/sd-versions/?detailPdoId=12891>
- [22] J. C. Almeida, A. G. Castro, I. M. M. Salvado, F. M. Margarida, and M. H. V. Fernandes, "A new approach to the preparation of pdms-sio2 based hybrids - a structural study," *Materials Letters*, vol. 128, pp. 105 – 109, 2014. [Online]. Disponível:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167577X14007125>

Anexos

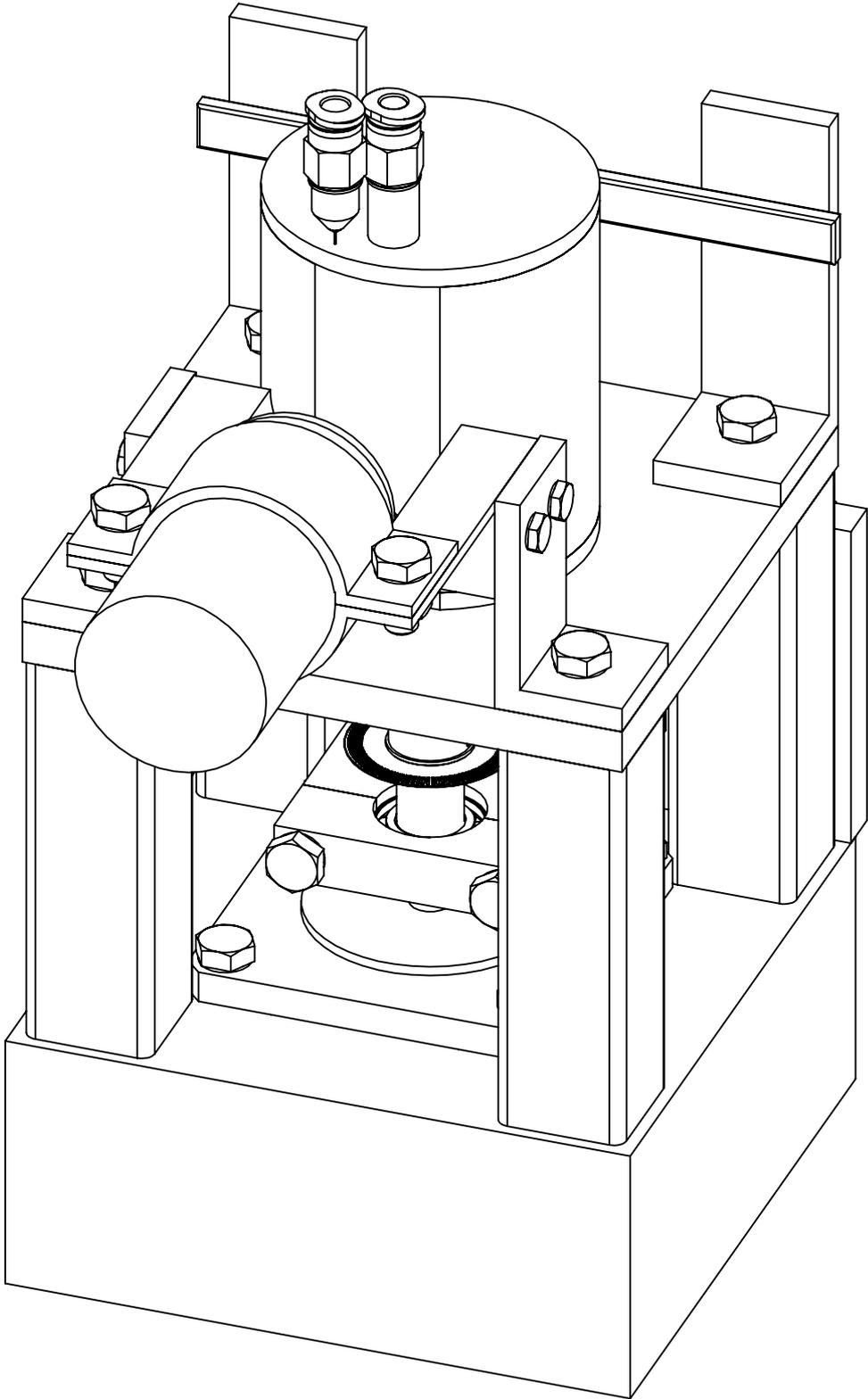
Anexo A

Desenhos técnicos

4 3 2 1

F
E
D
C
B

F
E
D
C
B



Tolerâncias:

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título: **Sistema de armazenamento folicular**

MATERIAL:

Peso:

Título Adicional

A4

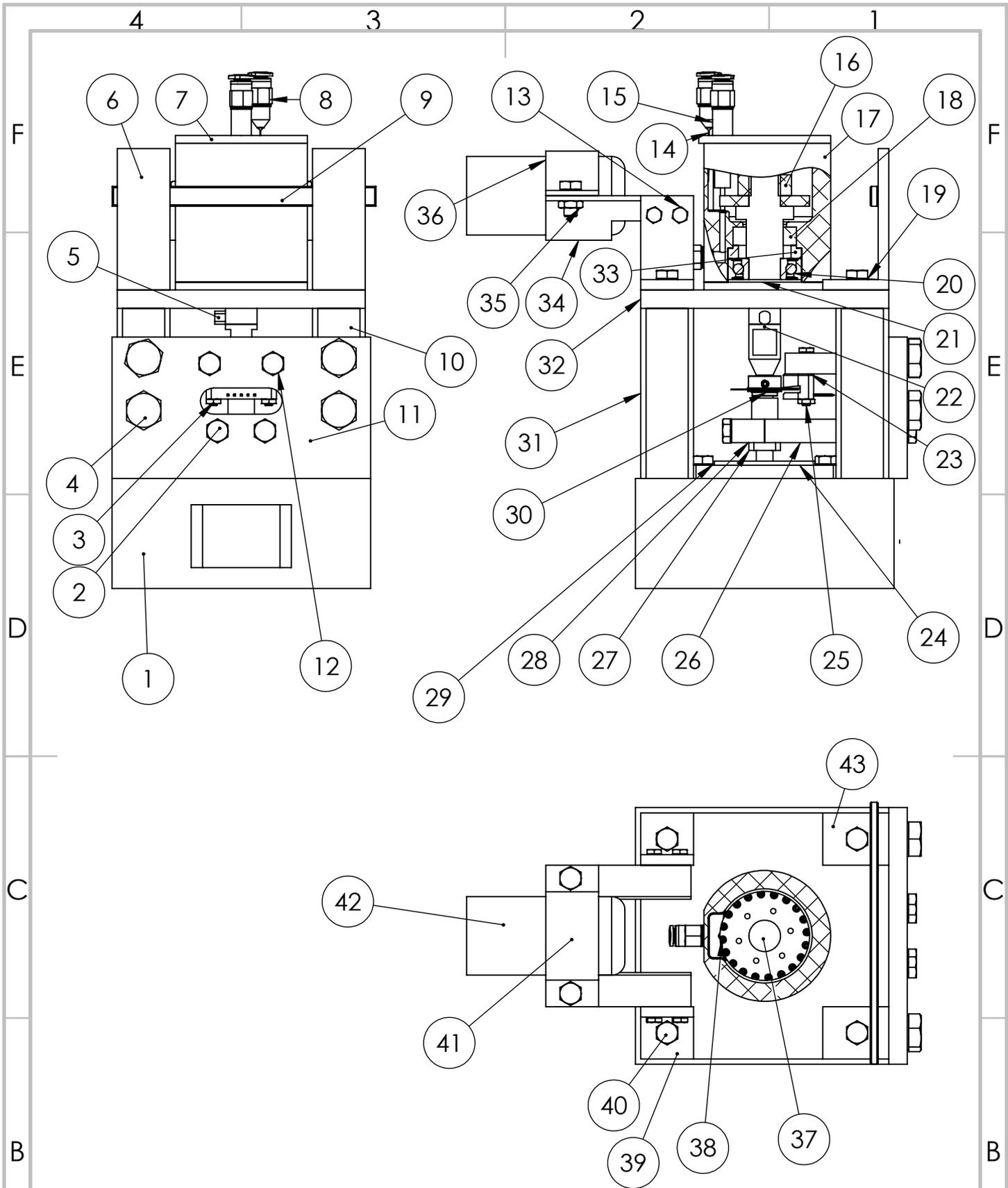
Escala: 1:5

Folha 1 de 30

4 3 2 1

A

A



Tolerâncias:

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			
MATERIAL:			
Peso:			

Título:

Desenho de Conjunto

Título Adicional

Sistema de armazenamento
folicular

A4

Escala: 1:1

Folha 2 de 30

4 3 2 1

F

F

E

E

D

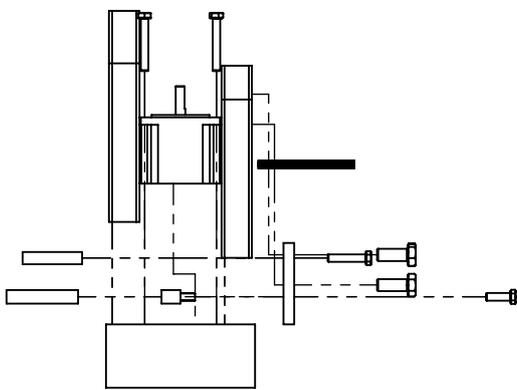
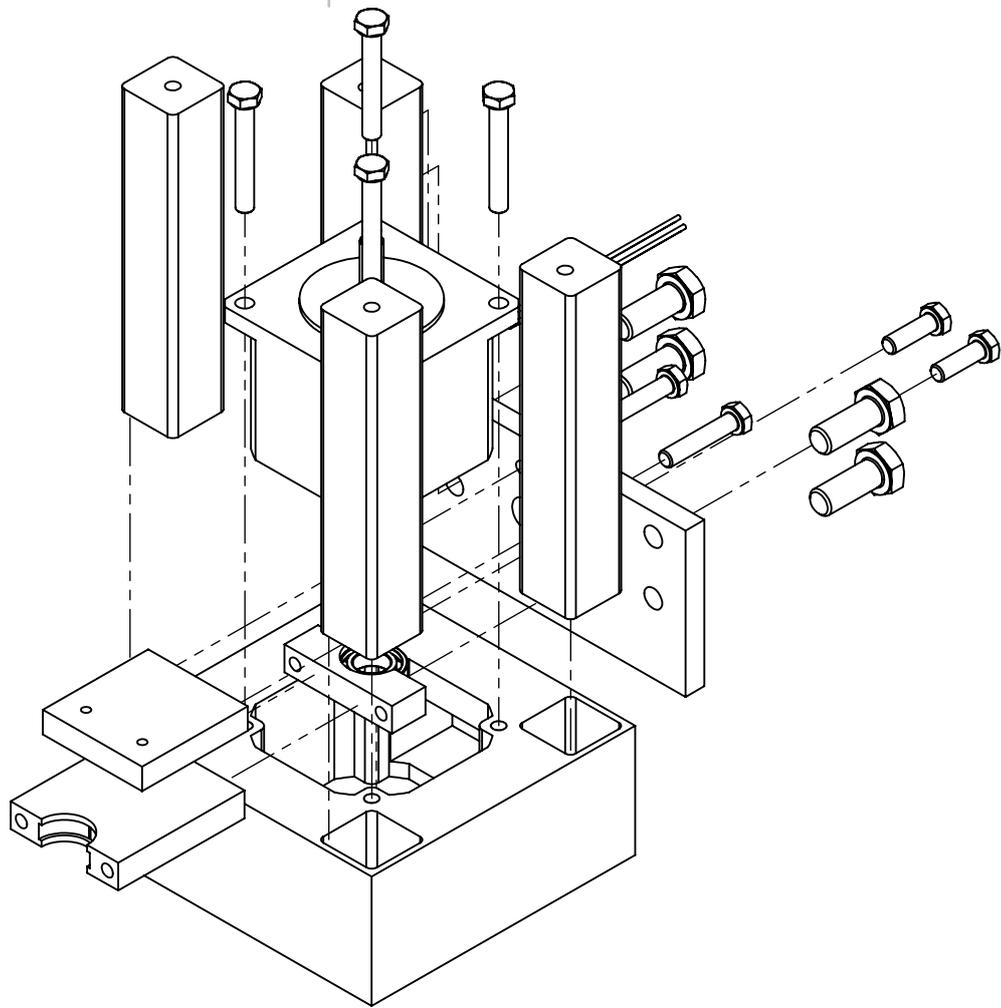
D

C

C

B

B



Escala: 1:5

Tolerâncias:	Finalizado:		
--------------	-------------	--	--

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título: **Desenho de montagem 1**

Título Adicional: Sistema de armazenamento foliácular

A4

MATERIAL:

Peso:

Escala: 1:2

Folha 5 de 30

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

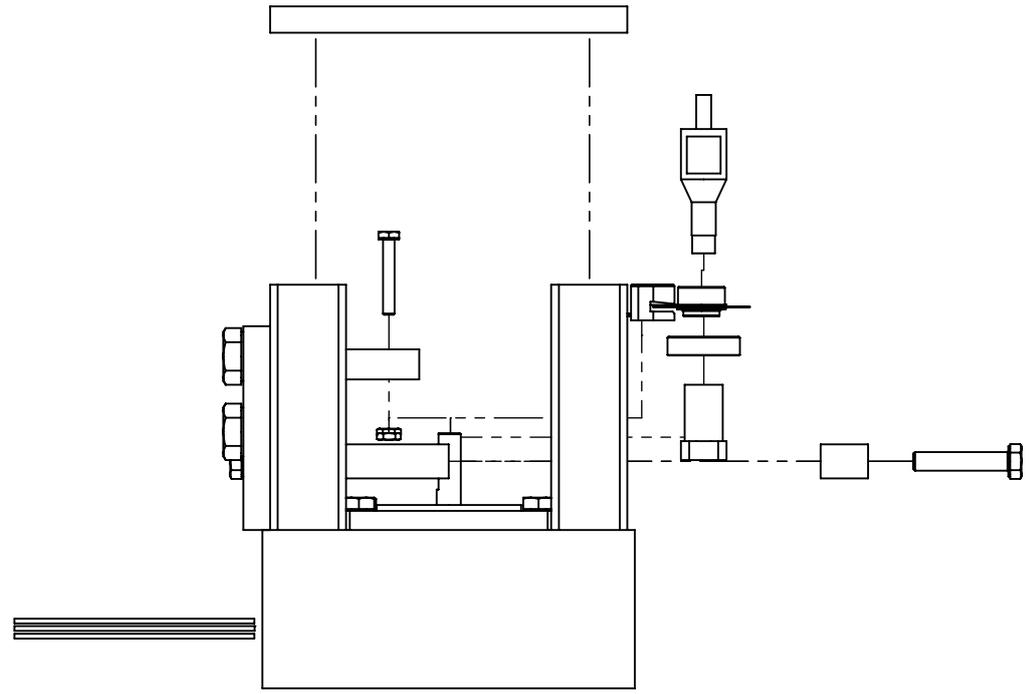
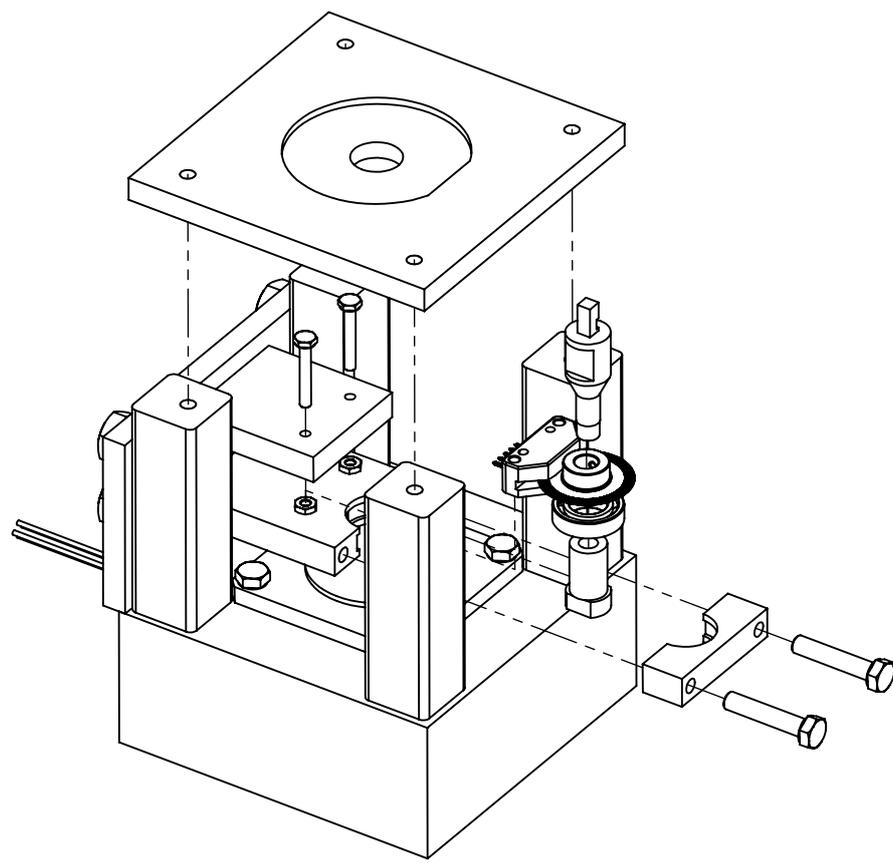
D

C

C

B

B



Tolerâncias:

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título: **Desenho de montagem 2**

Título Adicional: Sistema de armazenamento folicular

A4

Peso: Escala: 1:2 Folha 6 de 30

4 3 2 1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

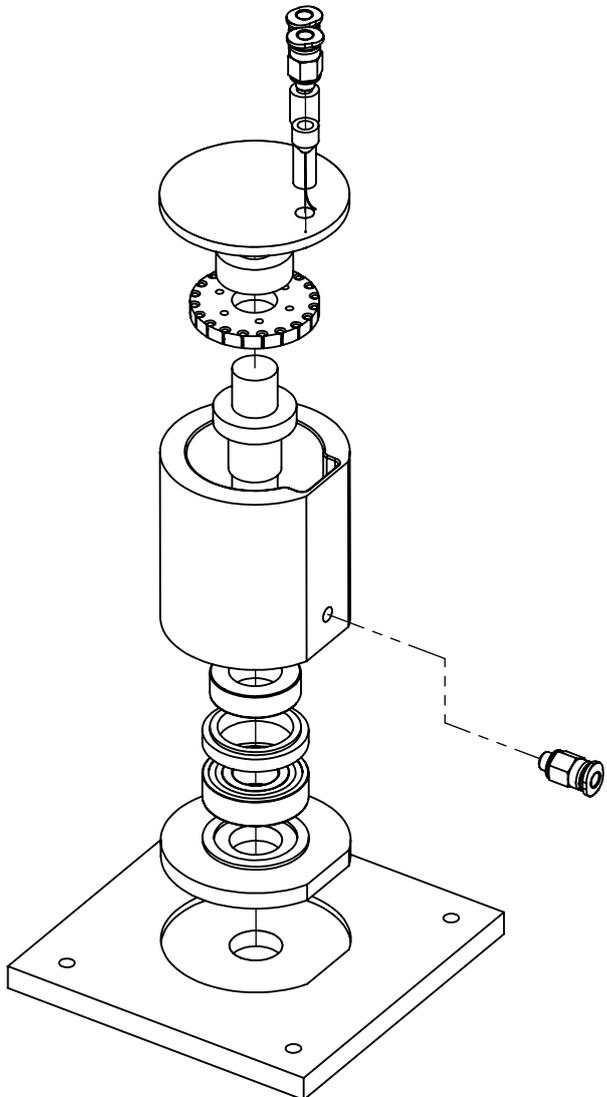
D

C

C

B

B



Tolerâncias:

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:

Desenho de montagem 3

Título Adicional

Sistema de armazenamento folicular

A4

Peso:

Escala: 1:2

Folha 7 de 30

4

3

2

1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

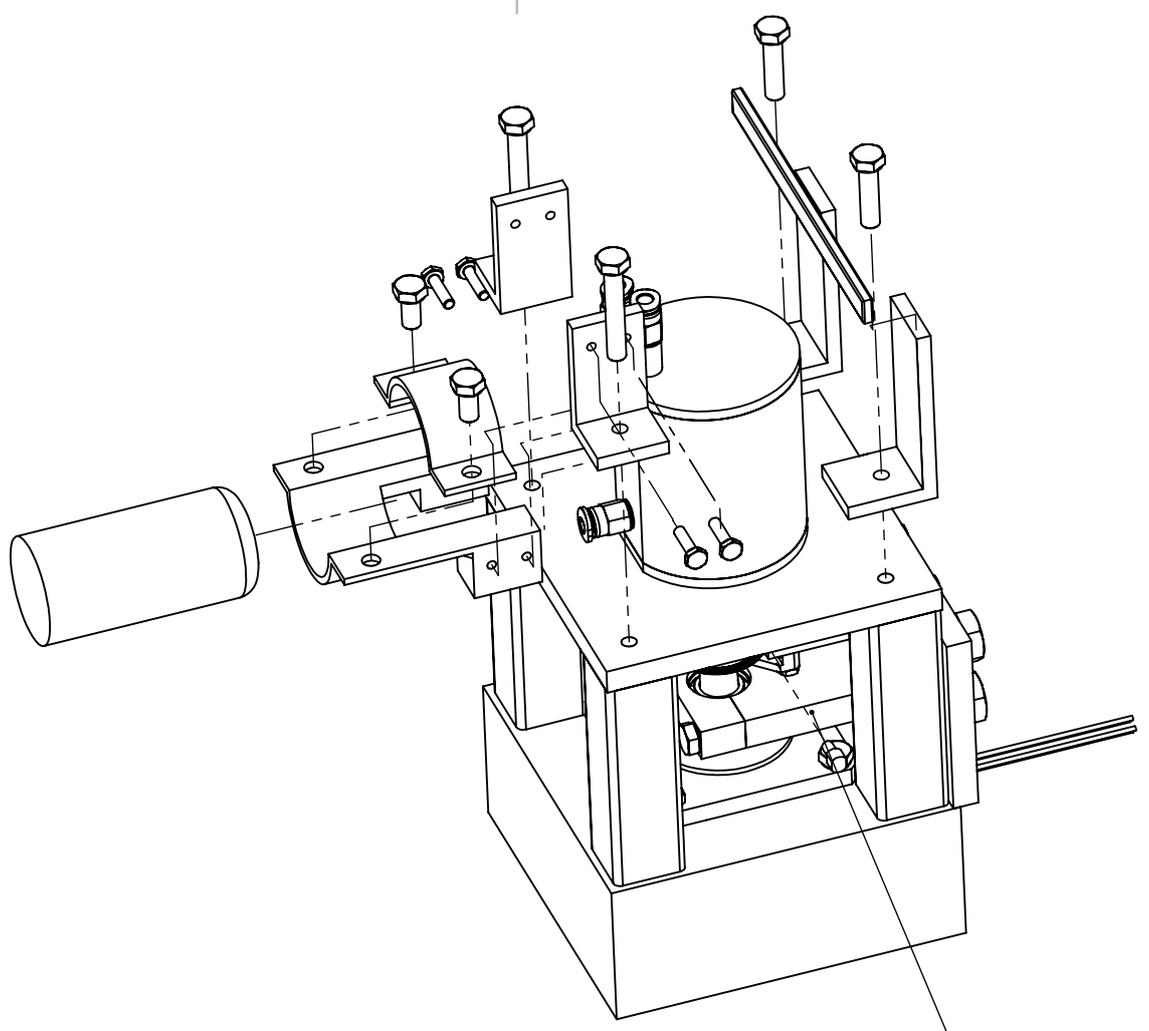
D

C

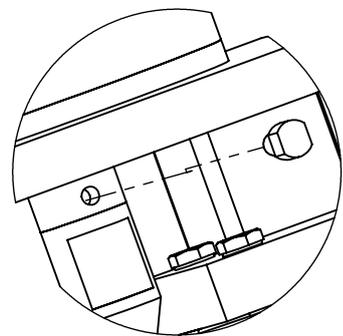
C

B

B



Detalhe A



Detalhe A

Tolerâncias:	Finalizado:		
--------------	-------------	--	--

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:	<h1>Desenho de montagem 4</h1>
Título Adicional	
	Sistema de armazenamento folicular
	A4
Peso:	Escala: 1:2
	Folha 8 de 30

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

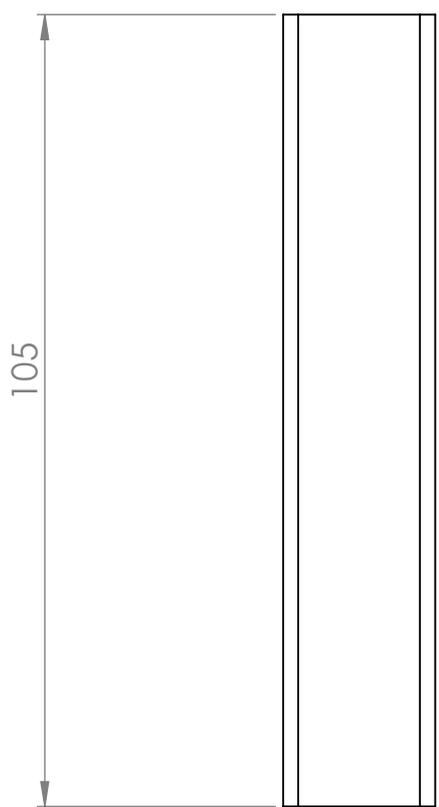
F

E

E

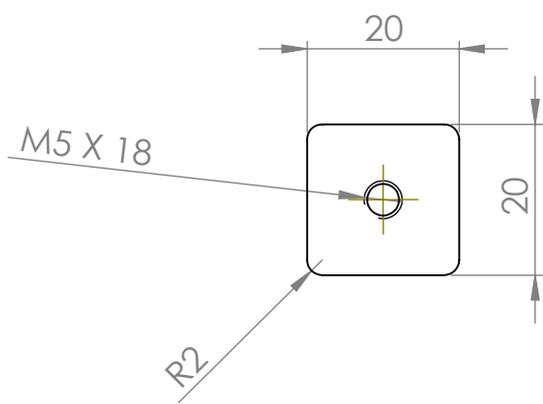
D

D



C

C



B

B

Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:
Apoio Frente

A

A

MATERIAL:
Alumínio

Peso:

Título Adicional:
Sistema de armazenamento
folicular

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

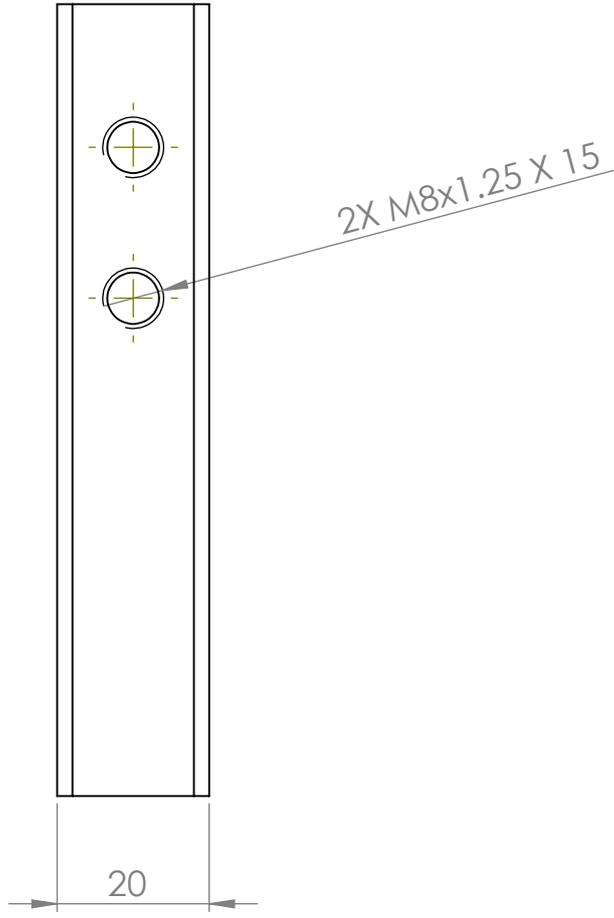
F

E

E

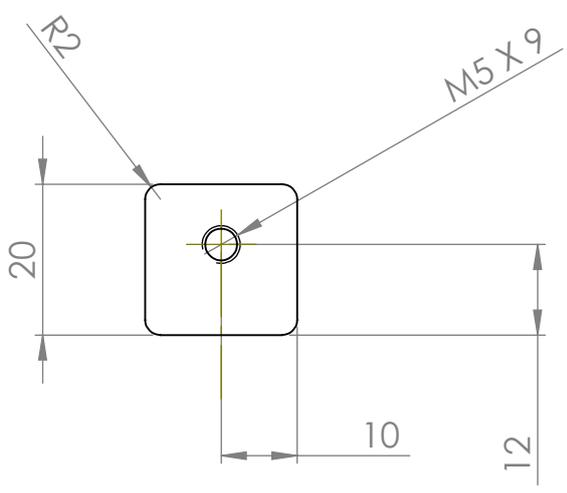
D

D



C

C



B

B

Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:
Apoio Traseiro

A

A

MATERIAL:
Aluminio

Peso:

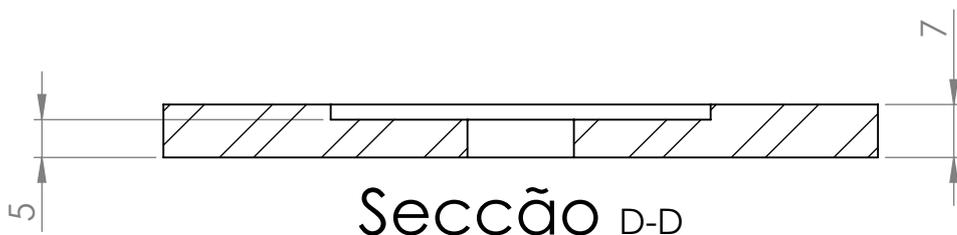
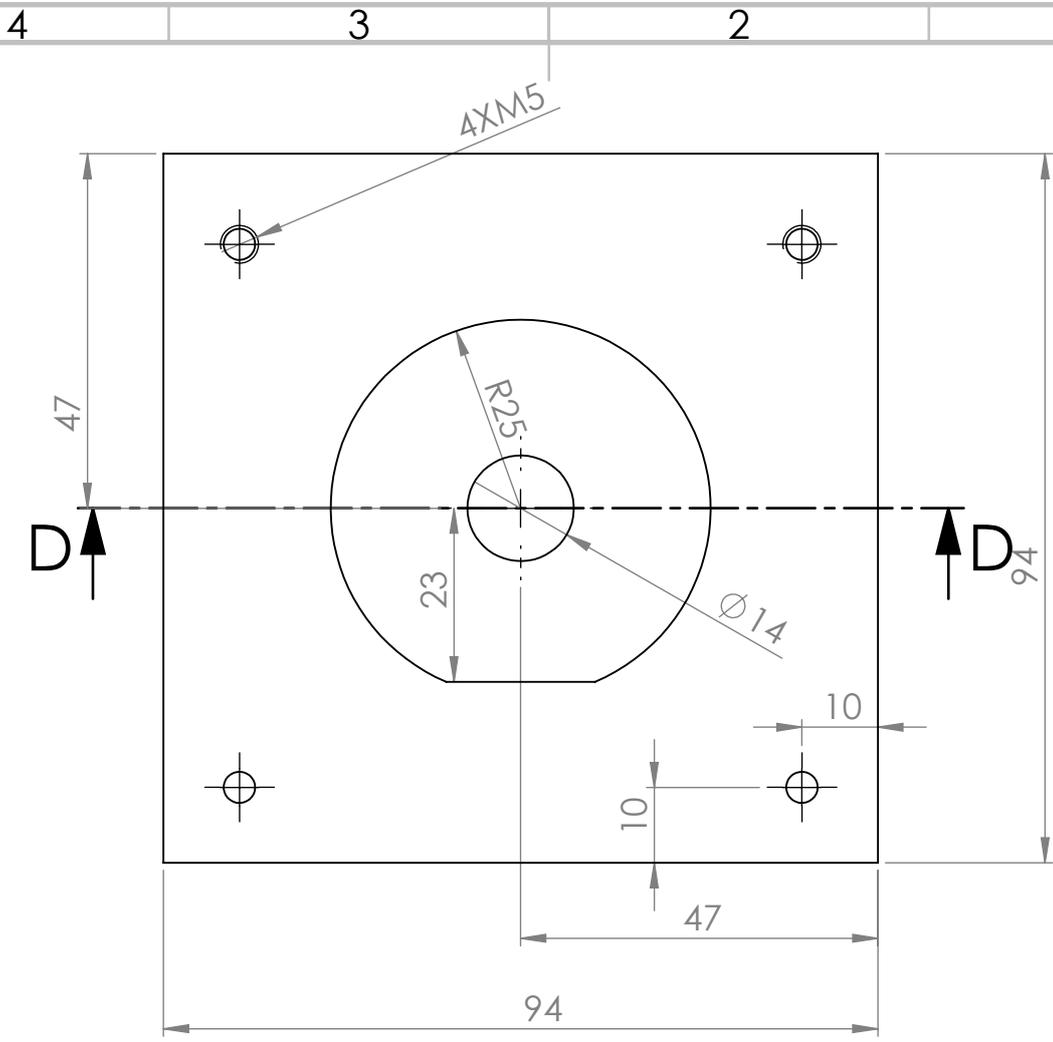
Título Adicional
Sistema de armazenamento
folicular

A4

Escala: 1:1

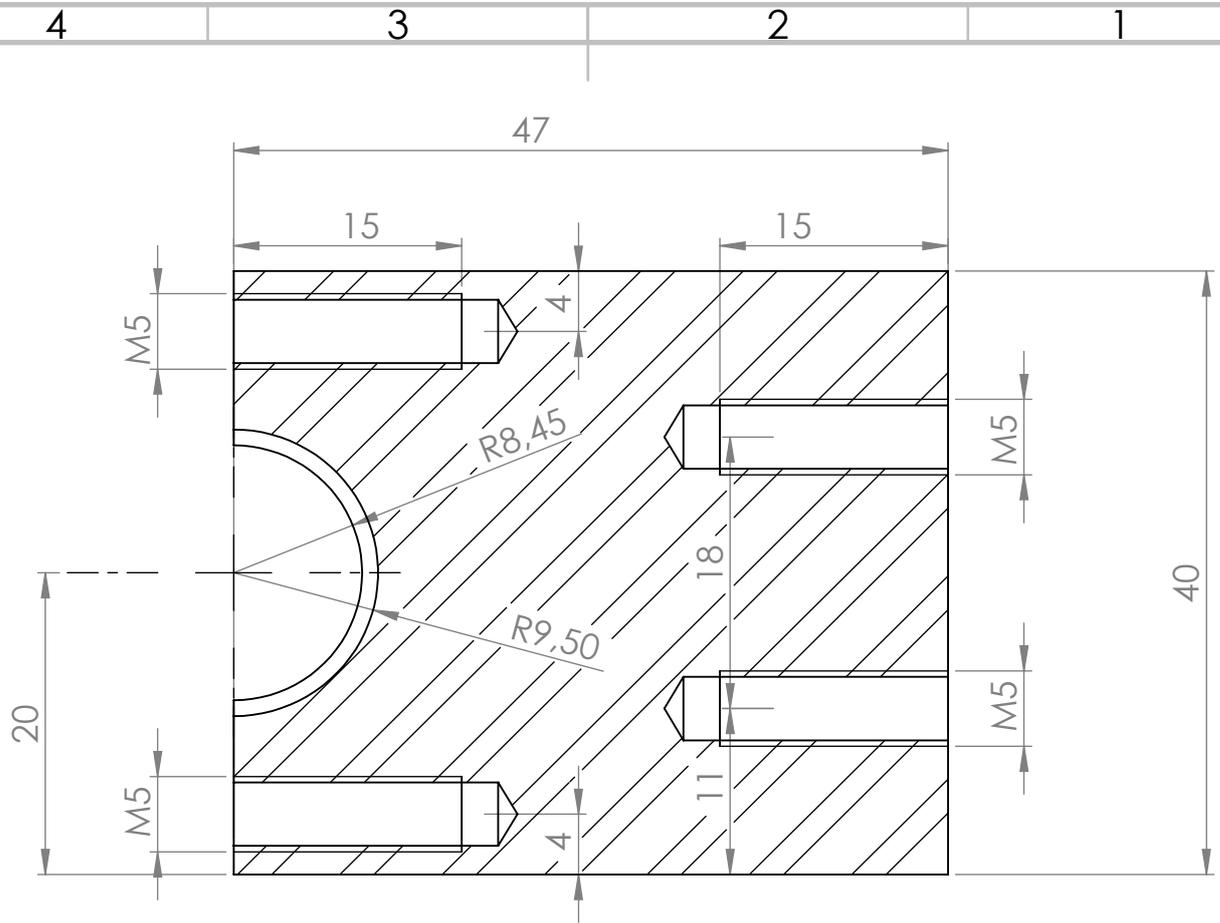
Folha 11 de 30

4 3 2 1

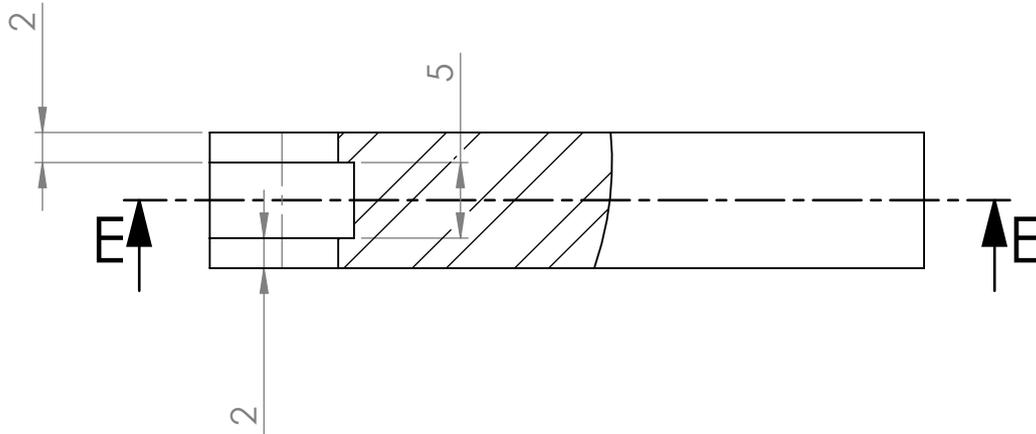


Secção D-D
Escala 1 : 1

Tolerâncias:		Finalizado:			
ISO 8015					
ISO 2768 - mK					
	Nome	Assinatura	Data	Título:	
Desenhado				Base Topo	
Verificado					
Aprovado					
MATERIAL:			Título Adicional		A4
Alumínio			Sistema de armazenamento folicular		
Peso:			Escala: 1:1		Folha 12 de 30



Secção E-E
Escala
2 : 1



Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

Nome	Assinatura	Data
Desenhado		
Verificado		
Aprovado		
MATERIAL: Alumínio		
Peso:		

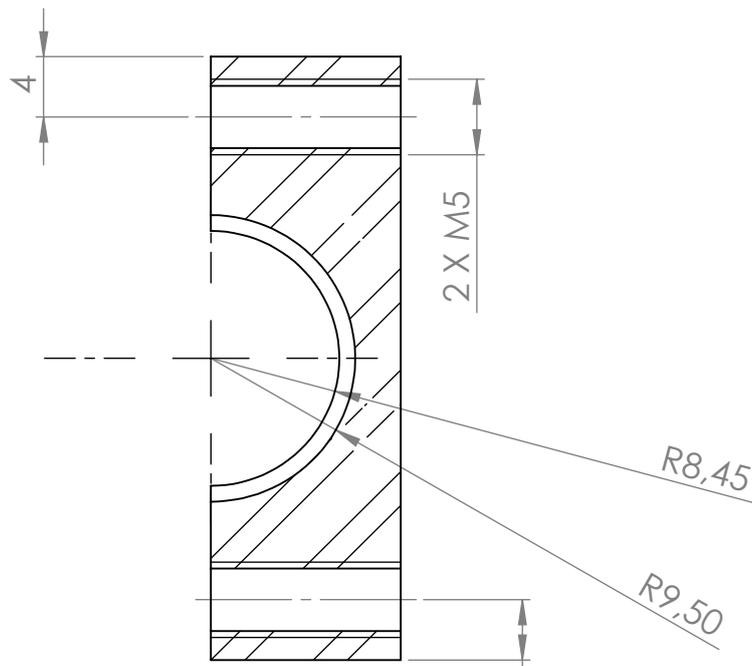
Título:
**Suporte rolamento
1**

Título Adicional
Sistema de armazenamento
folicular

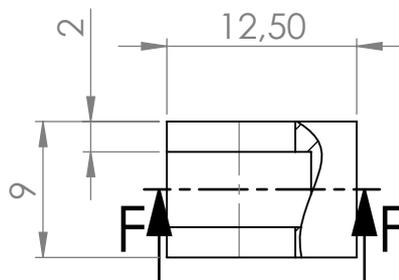
A4

Escala: 1:5

Folha 14 de 30



Secção F-F
Escala 2 : 1



Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:

Suporte de
rolamento 2

Título Adicional

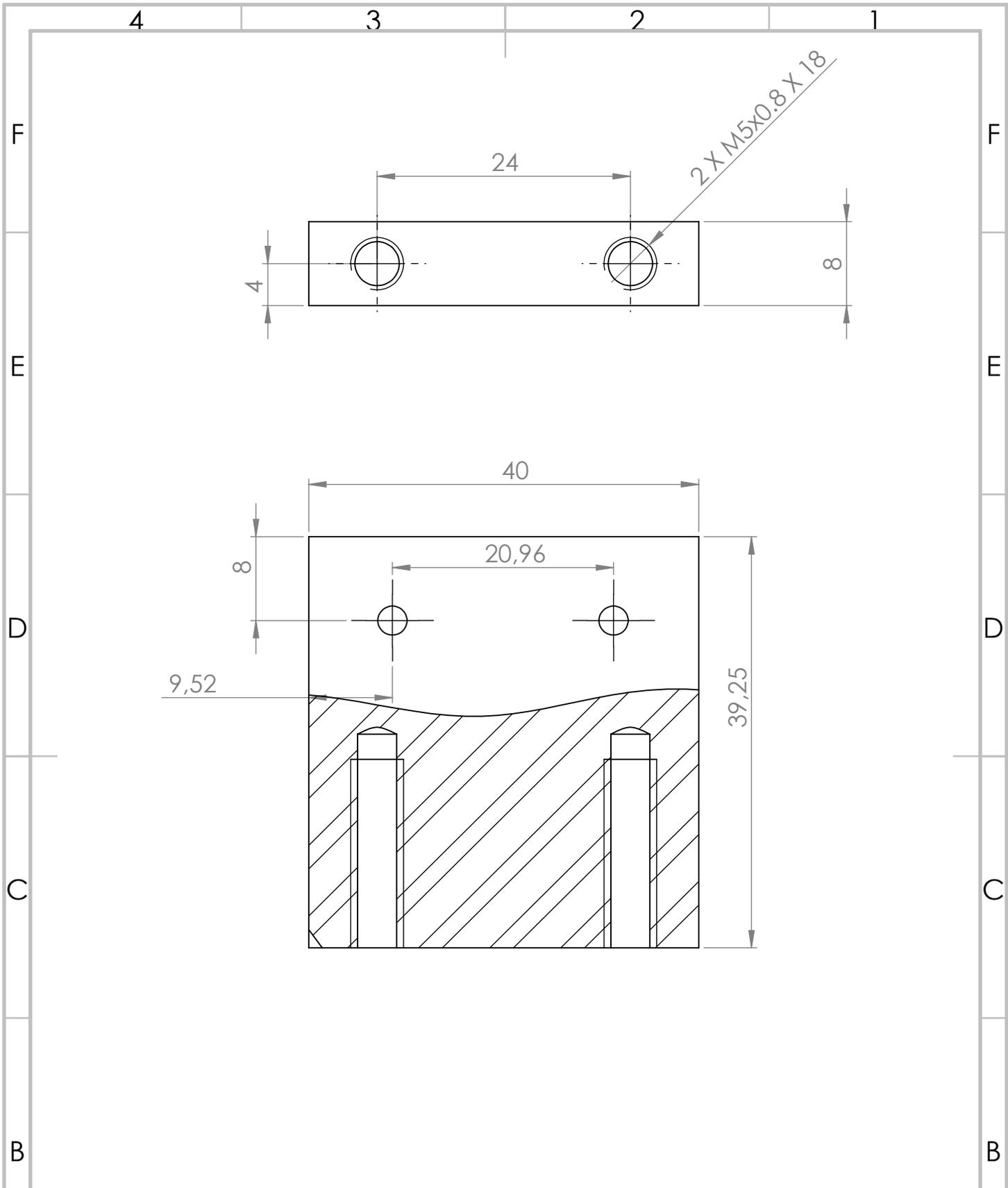
Sistema de armazenamento
folicular

A4

Peso:

Escala: 1:1

Folha 15 de 30



Tolerâncias:
 ISO 8015
 ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

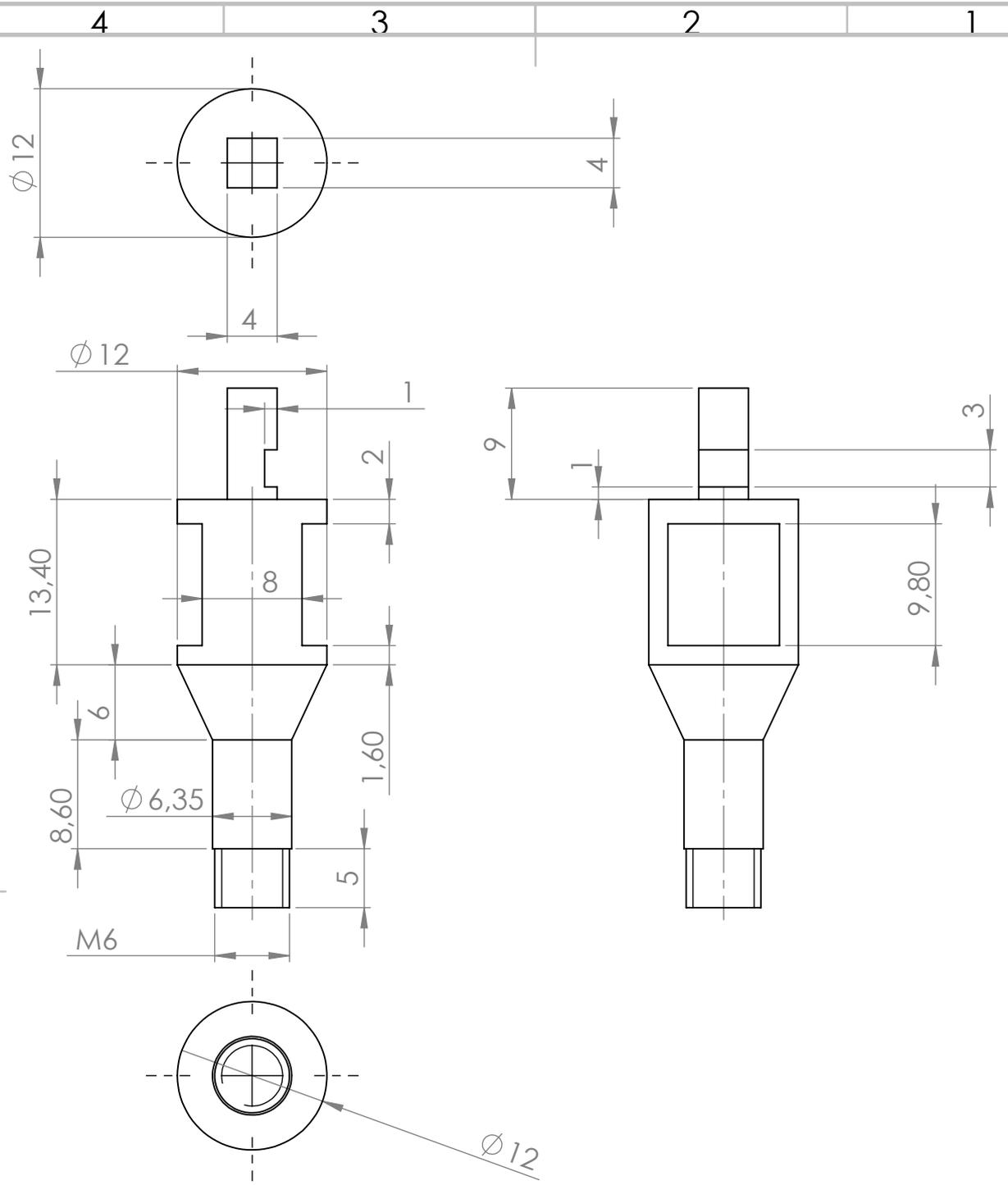
Título:
Apoio Encoder

Título Adicional:
 Sistema de armazenamento
 folicular

A4

Peso:
 Escala: 1:1

Folha 16 de 30



Tolerâncias:
 ISO 8015
 ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:
**Ligação encoder
 veio**

Título Adicional:
 Sistema de armazenamento
 folicular

A4

Peso:

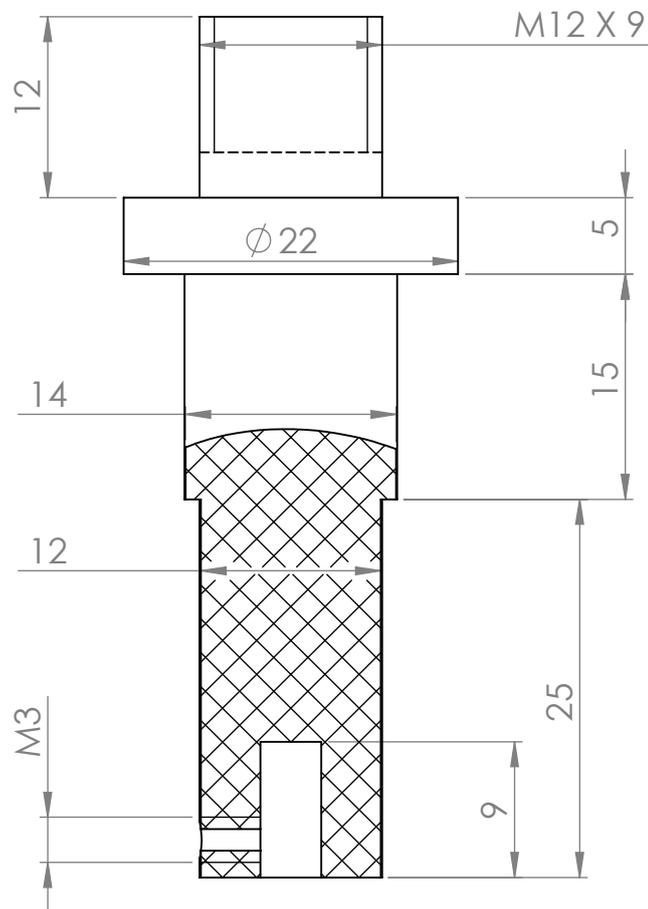
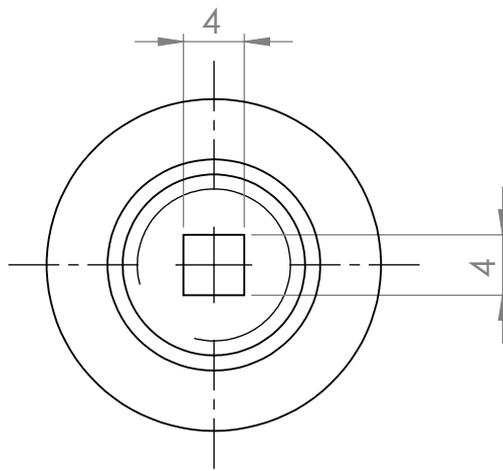
Escala: 1:1

Folha 18 de 30

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

4 3 2 1



Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

Nome	Assinatura	Data
Desenhado		
Verificado		
Aprovado		

Título:

Veio Principal

Título Adicional

Sistema de armazenamento
folicular

A4

MATERIAL:

Acrílico

Peso:

Escala: 1:1

Folha 19 de 30

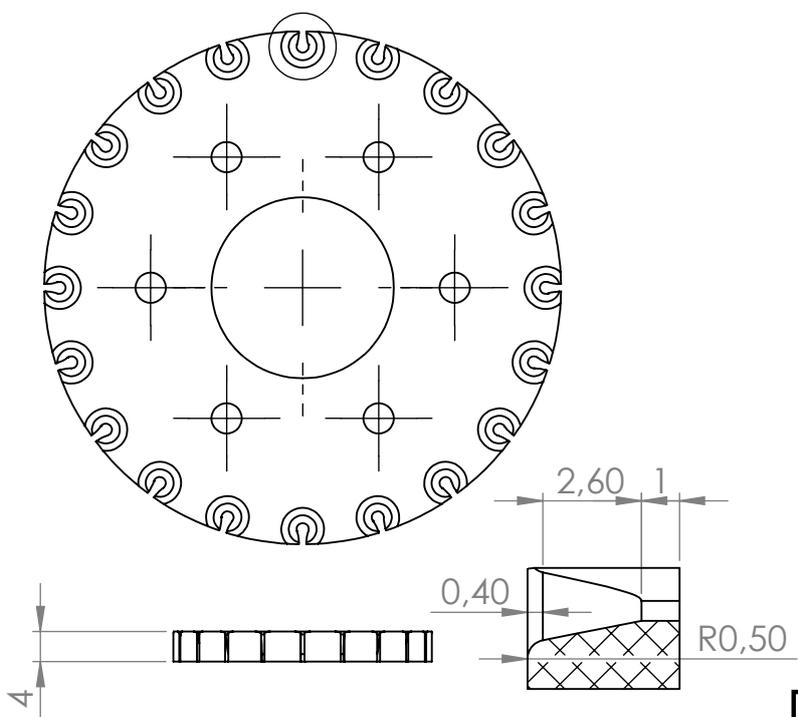
4 3 J 2 1

F

F

E

E

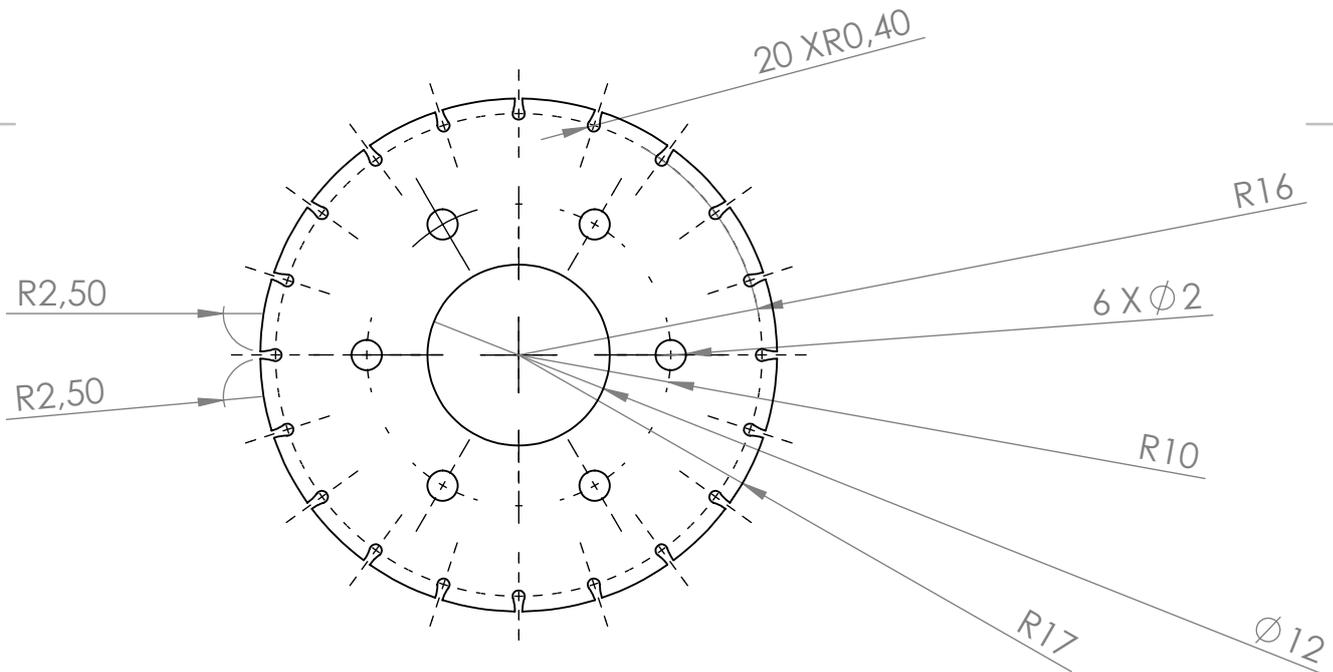


Detail J

Secção K-K Escala 2:1
Escala 5:1

D

D



C

C

B

B

Tolerâncias:	Finalizado:		
--------------	-------------	--	--

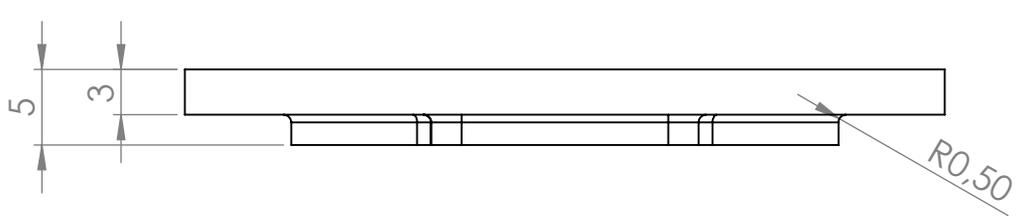
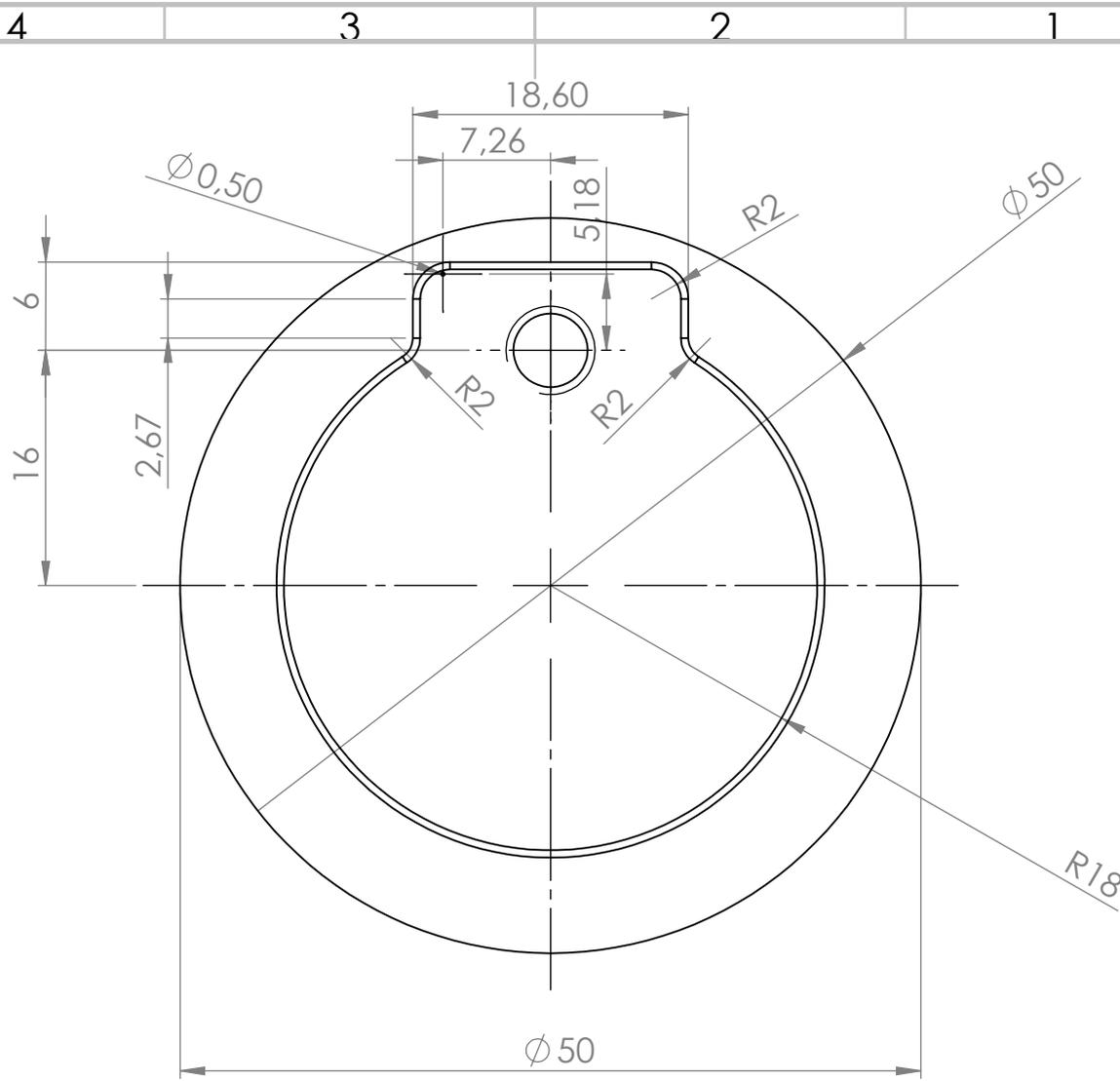
	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:	<h1>Disco</h1>	
Título Adicional	Sistema de armazenamento folicular	
MATERIAL:	Acrílico	
Peso:		
Escala: 1:1		
Folha 20 de 30		

A

A

4 3 2 1



Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

Nome	Assinatura	Data
Desenhado		
Verificado		
Aprovado		
MATERIAL: Acrílico		
Peso:		

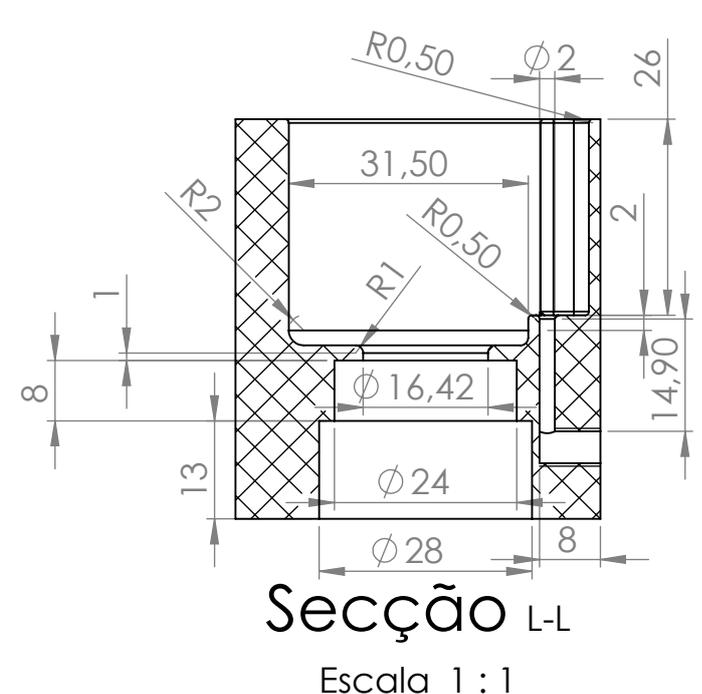
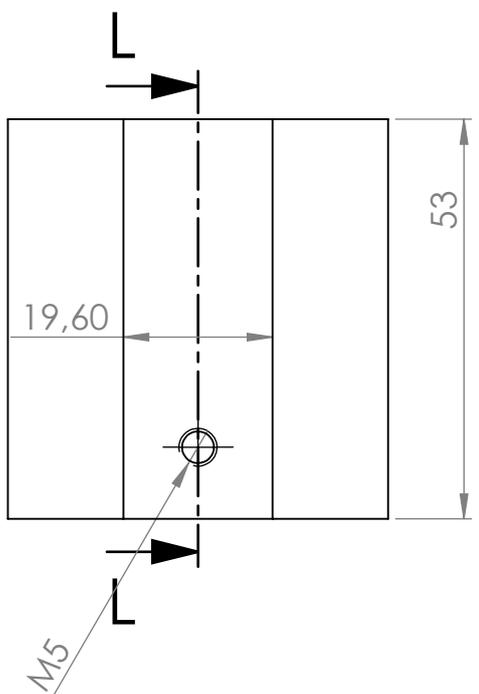
Título:
Tampa topo

Título Adicional:
Sistema de armazenamento
folicular

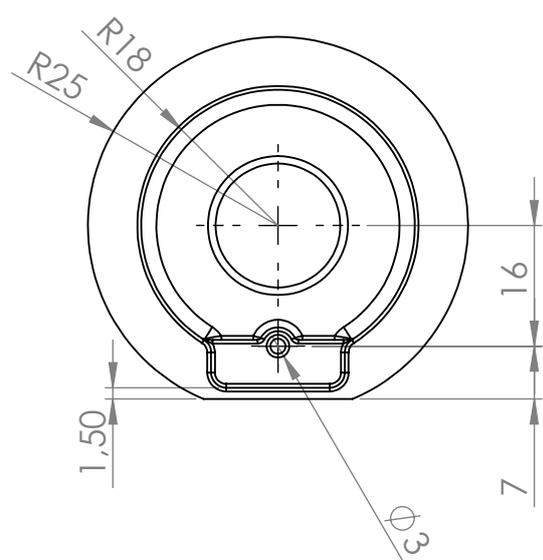
A4

Escala: 1:1

Folha 21 de 30



Secção L-L
Escala 1 : 1

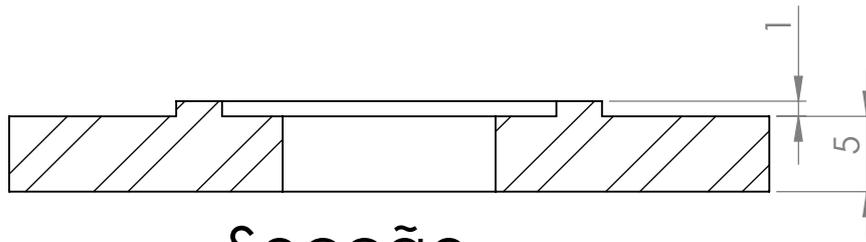


Tolerâncias: ISO 8015 ISO 2768 - mK		Finalizado:			
Desenhado	Nome	Assinatura	Data	Título: Recipiente	
Verificado					
Aprovado					
MATERIAL: Acrílico			Título Adicional: Sistema de armazenamento folículo		A4
Peso:			Escala: 1:1		Folha 22 de 30

4 3 2 1

F

F



Secção N-N

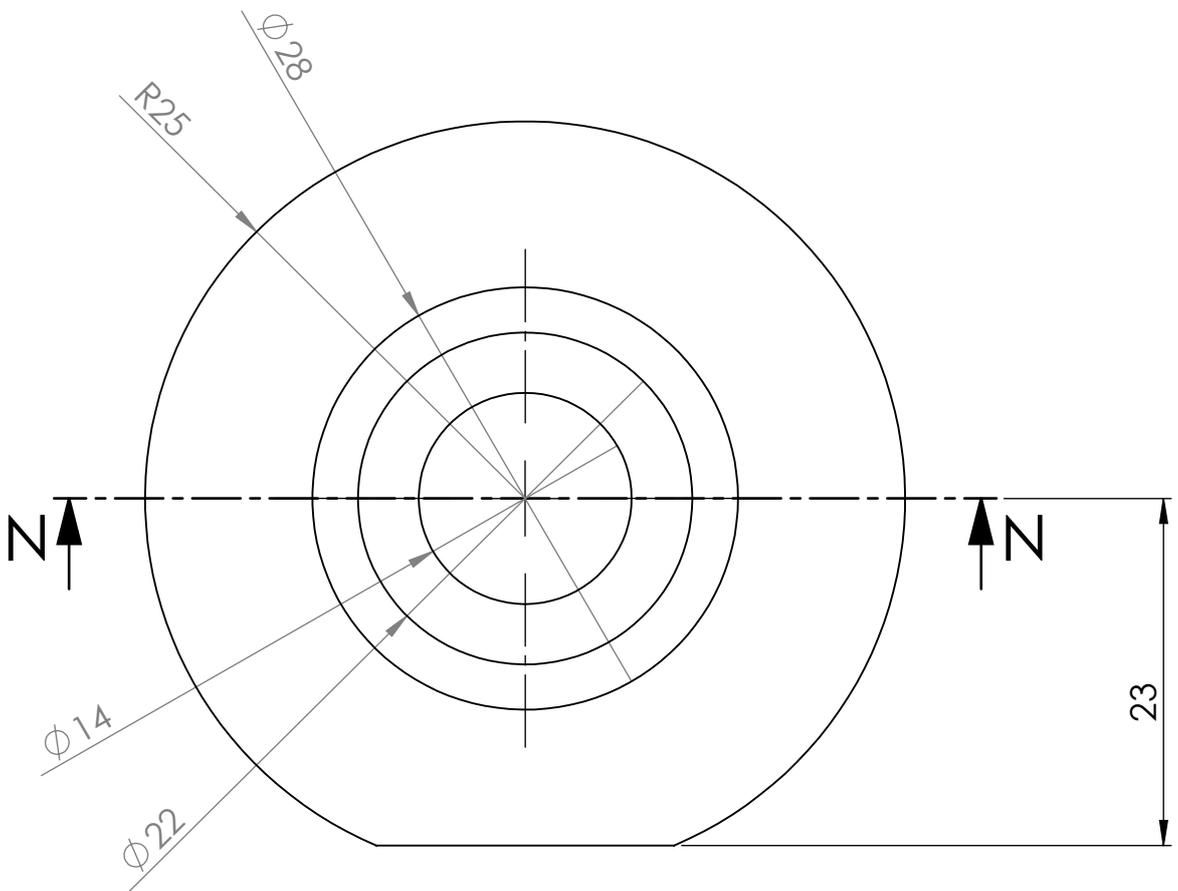
Escala 2 : 1

E

E

D

D



C

C

B

B

Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:
Tampa baixo

A

A

MATERIAL:
Alumínio

Peso:

Título Adicional:
Sistema de armazenamento
folículo

A4

Escala:2:1

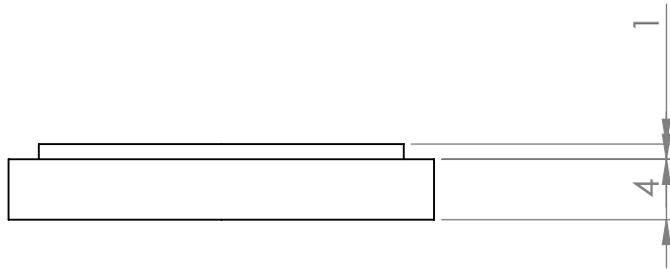
Folha 24 de 30

4 3 2 1

4 3 2 1

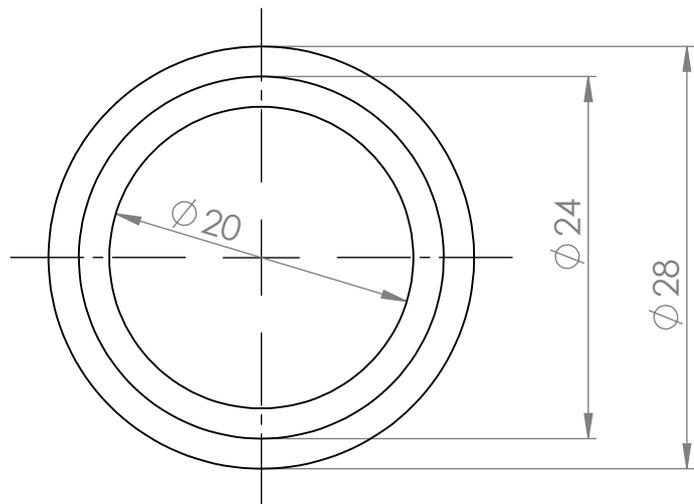
F

F



E

E



D

D

C

C

B

B

Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data		
Desenhado					
Verificado					
Aprovado					

Título:
Espaçador

Título Adicional:
Sistema de armazenamento
folicular

A4

MATERIAL:
Alumínio

Peso:

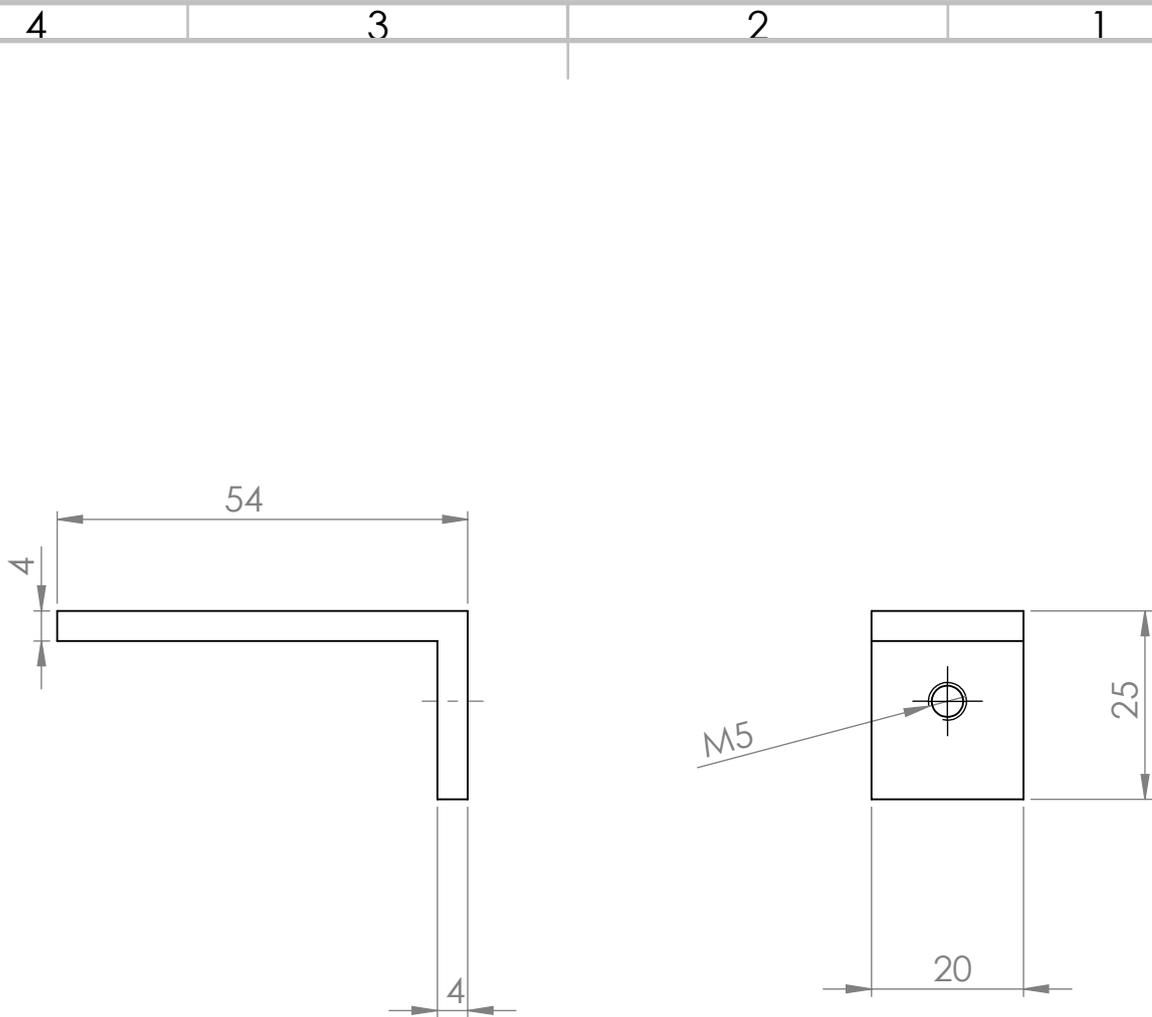
Escala:2:1

Folha 25 de 30

A

A

4 3 2 1



Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:
Cantoneira LED

MATERIAL:
Alumínio

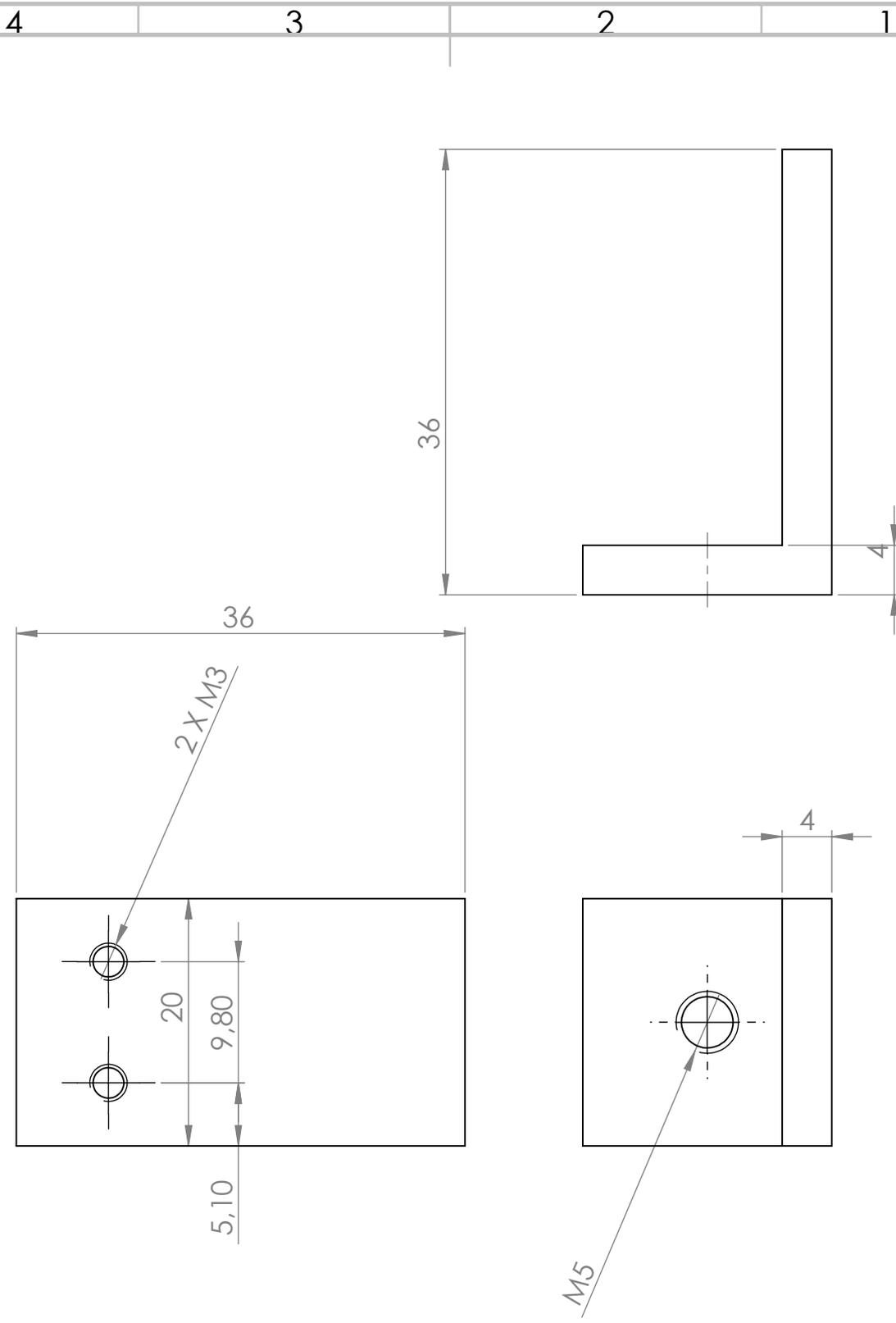
Título Adicional
Sistema de armazenamento
folicular

A4

Peso:

Escala: 1:1

Folha 26 de 30



Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:
**Cantoneira
Câmera**

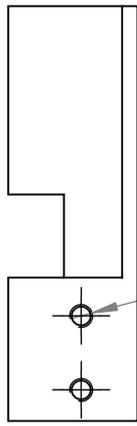
Título Adicional:
Sistema de armazenamento
folicular

A4

Peso:

Escala:2:1

Folha 27 de 30



4 X M3x0.5 X 8

19

2

R15

54

55

9,40

30

44

2 X Ø5

Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

Nome	Assinatura	Data
Desenhado		
Verificado		
Aprovado		
MATERIAL: Alumínio		
Peso:		

Título:

Apoio Camera 1

Título Adicional

Sistema de armazenamento
folicular

A4

Escala: 1:1

Folha 28 de 30

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

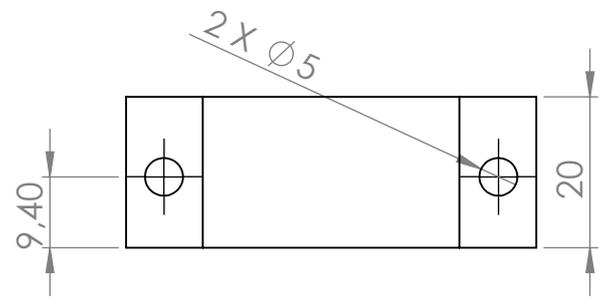
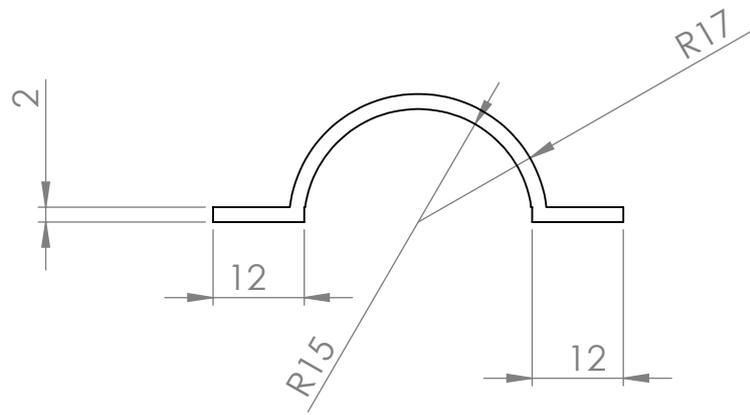
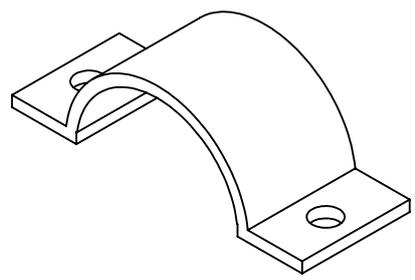
C

B

B

A

A



Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título:
Apoio camera 2

Título Adicional:
Sistema de armazenamento
folicular

A4

MATERIAL:
Alumínio

Peso:

Escala: 1:1

Folha 29 de 30

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

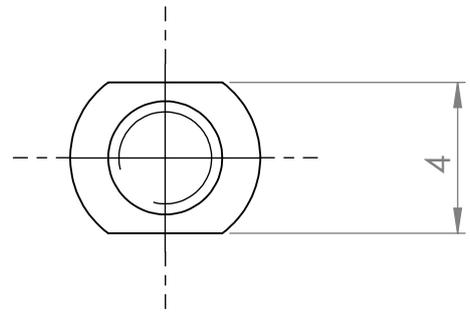
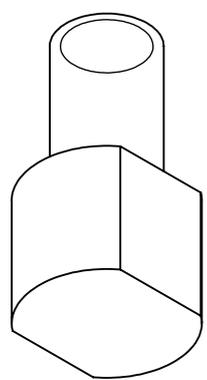
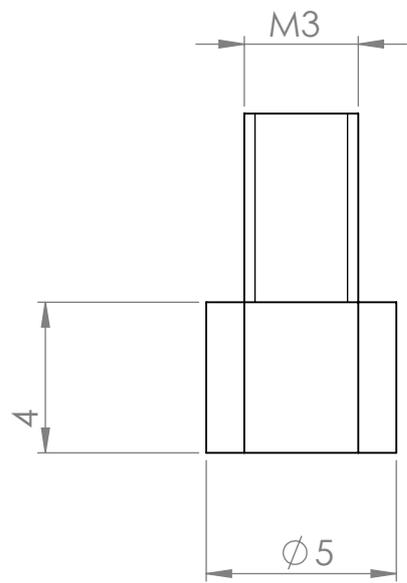
D

C

C

B

B



Tolerâncias:
ISO 8015
ISO 2768 - mK

Finalizado:

	Nome	Assinatura	Data
Desenhado			
Verificado			
Aprovado			

Título: **Pino**

MATERIAL:
Alumínio

Peso:

Título Adicional:
Sistema de armazenamento
folicular

A4

4 3 2 1

A

A

Anexo B

Rotina *imanalazer*

```
1 function imanalazer( dir )
2 %   Input:
3 %   dir - Diretório do ficheiro a ser analisado;
4
5 %Esta função pretende analisar a imagem sob o formato HSV para efetuar uma ...
6     contagem dos pêlos existentes nos folículos.
7
8 %   Função
9 I = imread(dir); %Lê o ficheiro e transforma o ficheiro em 3 matrizes ...
10     391x227 (dimensão da imagem gravada)
11
12 A=rgb2hsv(I);%Converte de RGB para HSV
13 AA= repmat(zeros(size(A,1),size(A,2)), [1 1 3]); %cria 3 matrizes devido a ...
14     sobreposição das matrizes R G B
15 AA(:, :, 1) = A(:, :, 1); % Matiz (tonalidade):
16 AA(:, :, 2) = A(:, :, 2); % Saturação
17 AA(:, :, 3) = A(:, :, 3) > 0.51; % Valor (brilho):
18
19 %Primeira filtragem
20 imtrab=AA(:, :, 3); % Já se encontra binarizado
21
22 %Segunda filtragem
23 SE=ones(3); %Elemento estruturante
24 IM2 = imdilate(imtrab,SE); %Dilatação da imagem segundo o elemento ...
25     estruturante
26 IM2(214:391,10:227)=1; %Limpeza das áreas sujeitas a ruído sem influência ...
27     para a imagem
28 IM2(1:67,165:227)=1;
29 IM3 = imclearborder(~IM2); %limpar o bordo da imagem e inversão da máscara.
30
31 %Terceira filtragem
32
33 % Filtrar com base nas propriedades
34 IM3 = bwpropfilt(IM3, 'Eccentricity', [0.4298, 0.9983]);
35 IM3 = bwpropfilt(IM3, 'MinorAxisLength', [2.5, 21]);
36 IM3 = bwpropfilt(IM3, 'EquivDiameter', [3, 40]);
37 IM3 = bwpropfilt(IM3, 'Area', [10, 1300]);
38 IM3 = bwpropfilt(IM3, 'Perimeter', [13.009, 340]);
39
```

```
35 %Mostragem dos resultados
36 fig = figure('Name',dir,'NumberTitle','off');
37 set (fig, 'Units', 'normalized', 'Position', [0,0,1,1]);
38 subplot(1,3,1)
39 imshow(I)
40 subplot(1,3,2)
41 imshow(AA)
42 subplot(1,3,3)
43 imshow(IM3)
44 [labeledImage, numberOfObject] = bwlabel(IM3);
45 X=num2str(numberOfObject);
46 text='Número de raizes no folículo: ';
47 disp([text, X])
48 end
```