

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS CURITIBA

PROJETO INTEGRADOR I – ENGENHARIA MECATRÔNICA

FLÁVIO SIDNEI DOS SANTOS NETO

LUCAS DE BRITO MOLETTA

JÚLIO TINTI DE ANDRADE

NITHAEL MANGOLIN SAMPAIO

MEMOMED: SMART DISPENSER DE REMÉDIOS

PARA AUXÍLIO NA ADERÊNCIA MEDICAMENTOSA

CURITIBA

DEZEMBRO, 2022

FLÁVIO SIDNEI DOS SANTOS NETO

LUCAS DE BRITO MOLETTA

JÚLIO TINTI DE ANDRADE

NITHAEL MANGOLIN SAMPAIO

MEMOMED: SMART DISPENSER DE REMÉDIOS
PARA AUXÍLIO NA ADERÊNCIA MEDICAMENTOSA

Relatório elaborado na disciplina de Projeto Integrador I do curso de Engenharia Mecatrônica, ofertada pelo Departamento Acadêmico de Mecânica, do Campus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Sérgio Leandro Stebel e Prof. Gilson Yuki Sato

CURITIBA
DEZEMBRO, 2022

RESUMO

Para que tratamentos medicamentosos sejam bem sucedidos é fundamental que o paciente siga as recomendações médicas com relação a ingestão de remédios, e a ingestão correta dos mesmos é conhecida como aderência medicamentosa. A não aderência medicamentosa é um problema com repercussões que vão desde o perigo à vida de pacientes, até prejuízos financeiros milionários para governos e sistemas de saúde. Uma maneira de se atacar este problema em menor escopo é utilizando organizadores automatizados de medicamentos, porém estes são aparelhos com elevado custo de aquisição. Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo principal desenvolver o protótipo de um organizador de remédios automatizado de baixo custo para auxílio na aderência medicamentosa, com foco principal no público idoso. A metodologia utilizada consiste na integração de conceitos diversos para elaboração de um protótipo funcional, que deve permitir a organização de remédios automatizada programada por um usuário via aplicativo Web. Os pilares desta integração serão programação Web, uso de microcontroladores, modelagem 3D e manufatura aditiva. A partir destes pilares foi concebido um mecanismo, acionado por um servo motor e um motor de passo, que armazena e separa os remédios previamente colocados no aparelho nas horas e doses certas. A impressão 3D do modelo, juntamente com o controle dos motores (mecanismo de movimentação) e integração com o Web App, que foi feita se utilizando de um ESP32, validam o objetivo do projeto, resultando em uma prova de conceito de um organizador de remédios automatizado abaixo do preço médio de mercado. Visto que com o protótipo final, o usuário é capaz de separar seus remédios, programar as suas doses, e recebê-las no horário certo, de forma segura, e com os devidos alarmes para lembrá-lo da ingestão das pílulas.

Palavras-chave: aderência medicamentosa; dispensador de medicamentos; automação.

ABSTRACT

In order for drug treatments to be successful it is essential that the patient follows the medical recommendations regarding drug intake, and their correct intake is known as drug adherence. Non-adherence to medication is a problem with repercussions that range from the danger to the lives of patients, to millionaire financial losses for governments and health systems. One way to tackle this problem in a smaller scope is to use automated medication organizers, but these are devices with a high acquisition cost. Thus, the main objective of the present work is to develop the prototype of a low-cost automated medication organizer to aid in medication adherence, with a main focus on the elderly public. The methodology used consists of the integration of different concepts for the elaboration of a functional prototype, which should allow the automated organization of medicines programmed by a user via a Web application. The pillars of this integration will be Web programming, use of microcontrollers, 3D modeling and additive manufacturing. From these pillars, a mechanism was designed, driven by a servo motor and a stepper motor, which stores and separates the medicines previously placed in the device at the right times and doses. The 3D printing of the model, together with the control of the motors (movement mechanism) and integration with the Web App, which was done using an ESP32, validate the objective of the project, resulting in a proof of concept of an automated drug organizer with cost below the average market price. With the final prototype the user is able to separate their medicines, program their doses, and receive them at the right time, in a safe way, with the appropriate alarms to remind them to take the pills.

Keywords: medication adherence; medication dispenser; automation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição da amostra e prevalências globais de utilização de medicamentos no Brasil, segundo características sociodemográficas. PNAUM, Brasil, 2014. (N = 41.433).....	1
Tabela 2 – Caminho critico do projeto.....	16
Tabela 3 – Cronograma do projeto.....	17
Tabela 4 – Componentes mecânicos.....	21
Tabela 5 – Acompanhamento de impressões.....	26
Tabela 6 – Estimativa de custo inicial.....	26
Tabela 7 – Custo real do projeto.....	27

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de conceito pneumático para um separador de remédios.....	13
Figura 2 – Parafuso de arquimedes modelado.....	14
Figura 3 – Estrutura Análítica do Projeto.....	14
Figura 4 – Conceito compartimento de remédios.....	17
Figura 5 – Compartimento de remédios impresso em 3D.....	17
Figura 6 – Conceito do movimento.....	18
Figura 7 – Modelagem mecanismo de movimentação.....	19
Figura 8 – Modelagem paramétrica.....	20
Figura 9 – Modelagem junto a tabela de projeto.....	21
Figura 10 – Estrutura modelada.....	22
Figura 11 – Acopladores entre eixos.....	22
Figura 12 – Visão traseira.....	23
Figura 13 – Sistema de gavetas.....	23
Figura 14 – Visão frontal e traseira modelagem final.....	24
Figura 15 – Exemplo de desenho de fabricação.....	24
Figura 16 – ESP32.....	28
Figura 17 – Interface portal.....	29
Figura 18 - Arquitetura do portal.....	30
Figura 19 – Protótipo 1 MemoMed montado.....	31
Figura 20 – Remédio separado pelo protótipo.....	31
Figura 21 – Visão frontal prótipo montado.....	32
Figura 22 – Canvas MemoMed.....	33
Figura 23 – Prototipagem das peças finais.....	33
Figura 24 – Processo de impressão e ajustes na direção das peças.....	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	7
1.2 OBJETIVOS.....	9
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	9
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.3 JUSTIFICATIVA.....	10
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
3 DESENVOLVIMENTO.....	12
3.1 ESCOPO DE ALTO NÍVEL.....	12
3.2 CONCEITOS INICIAIS.....	13
3.3 ETAPAS DO PROJETO.....	14
3.4 ESTRUTURA E CONCEITOS MECÂNICOS.....	17
3.4.1 MODELAGEM 3D.....	19
3.4.2 DEFINIÇÃO DE COMPONENTES E MODELAGEM DA CARCAÇA.....	20
3.4.3 FABRICAÇÃO.....	24
3.5 CUSTOS.....	25
3.6 MICROCONTROLADOR.....	27
3.7 PLATAFORMA ONLINE.....	28
3.7.1 ARQUITETURA.....	28
4 RESULTADOS.....	29
5 CONCLUSÃO.....	32
6 REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O abandono ou não conformidade com tratamentos médicos prescritos é um grave problema clínico, social e econômico, prejudicando a qualidade de vida do paciente e aumentando os custos da saúde, afetando a população geral. Para doenças crônicas, como diabetes e hipertensão, a Organização Mundial da Saúde estima que uma média de 50% de não aderência aos tratamentos (CHISHOLM-BURNS et al., 2012).

Nos Estados Unidos esse problema está associado a 125.000 mortes, 10% das hospitalizações e prejuízos entre 100 e 290 bilhões de dólares anualmente (ZULIG et al., 2018). Na Europa o prejuízo financeiro passa de 1,25 bilhões de euros (CUTLER et al., 2018).

Podemos conceituar esse grau de conformidade dos pacientes com o tratamento prescrito pelos profissionais de saúde como adesão ou aderência medicamentosa (Haynes, Taylor, Sackett, 1981;WHO, 2003;Ostenberg, Blaschke, 2005).

Com base na bibliografia levantada, no estudo quanto a adesão medicamentosa, pode-se observar a tendência de não-aderência variando de 50 a 70,8% entre os pacientes avaliados, para diferentes tipos de tratamentos e comorbidades, como por exemplo no estudo realizado no Ambulatório de Gastroenterologia (Departamento de Clínica Médica) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (HCFMRP-USP), foi identificado a não-adesão em 58% dos pacientes, sendo o comportamento não-intencional em 78,1% destes (DEWULF et al., 2006).

Existem diversos fatores que precisam ser considerados nas causas para a não aderência medicamentosa, dentre eles a acessibilidade do remédio e informação a população, fatores socio-econômicos, estigmas, entre outros. Isso posto, o esquecimento e não-intencionalidade do comportamento representa uma grande parcela observada nos estudos qualitativos, sendo os demais fatores nem sempre indicadores confiáveis, na pesquisa de Dias de Oliveira Filho et al., 2012 foi

identificado que as gestantes com menores taxas de adesão possuíam maior escolaridade e renda própria.

É possível generalizar, com exceção dos primeiros anos de idade, que quanto mais velho um indivíduo, maior o consumo de medicação. Esse recorte, para a população brasileira é visível na tabela abaixo:

Tabela 1. Distribuição da amostra e prevalências globais de utilização de medicamentos no Brasil, segundo características sociodemográficas. PNAUM, Brasil, 2014. (N = 41.433)

Característica sociodemográfica	Amostra %	Prevalência de uso de medicamentos					
		Todos		Sexo masculino		Sexo feminino	
		Prevalência	IC95 %	Prevalência	IC95 %	Prevalência	IC95 %
Faixa etária ^a		< 0,001 ^c		< 0,001		< 0,001	
0-4	6,2	42,0	39,5-44,6	42,6	39,5-45,7	41,4	38,6-44,3
5-9	7,5	25,3	22,0-28,6	26,7	21,6-31,8	23,9	19,4-28,5
10-19	16,0	30,6	27,9-33,3	24,5	20,7-28,2	36,5	32,7-40,4
20-29	16,5	48,0	45,4-50,6	31,4	26,8-35,9	64,4	62,0-66,8
30-39	15,3	50,6	47,9-53,2	34,8	30,3-39,3	64,5	61,8-67,3
40-49	13,8	54,1	52,0-56,2	39,0	36,6-41,4	67,5	65,3-69,7
50-59	11,5	64,7	62,5-66,8	50,3	47,0-53,5	76,1	74,0-78,2
60-69	6,9	77,0	75,3-78,7	68,3	65,7-70,9	83,8	81,9-85,6
70-79	4,3	85,8	84,0-87,5	79,8	76,1-83,4	89,9	88,2-91,6
≥ 80	2,0	88,6	86,1-91,1	85,2	81,6-88,9	90,9	87,6-94,2
Classificação econômica ^d		0,027		0,423		0,015	
A/B	22,3	51,9	49,2-54,5	40,7	37,0-44,4	62,5	59,9-65,1
C	55,3	51,1	49,4-52,8	39,2	37,2-41,2	61,5	59,5-63,5
D	17,7	50,1	47,5-52,8	39,1	35,7-42,6	59,2	56,2-62,2
E	4,6	43,5	38,2-48,8	34,6	27,6-41,6	53,2	47,0-59,3
Região		0,001		0,057		< 0,001	
Norte	7,5	42,4	38,0-46,7	35,7	31,7-39,6	48,6	43,1-54,1
Nordeste	24,3	53,4	51,2-55,7	42,7	39,7-45,6	62,6	60,1-65,0
Sudeste	45,9	50,8	48,1-53,5	39,1	35,7-42,4	61,3	58,3-64,3
Sul	14,3	49,8	46,8-52,9	36,5	32,9-40,1	61,8	59,0-64,6
Centro-Oeste	7,9	51,8	49,2-54,4	39,5	36,2-42,7	63,9	60,7-67,0
Total	100	50,7	49,3-52,2	39,3	37,5-41,1	61,0	59,3-62,6

^a Percentuais ajustados por pesos amostrais e por pós-estratificação segundo idade e sexo. Distribuição da amostra ponderada por sexo: 47,2% (masculino) e 52,8% (feminino).

^b Em anos completos.

^c Teste Qui-quadrado de Pearson.

^d A variável classificação econômica segundo o Critério de Classificação Econômica Brasil 2013 da Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (www.abep.org) apresenta 77 missings.

Fonte: BERTOLDI et al., 2016

A não-aderência medicamentosa é uma condição dominante na população idosa, principalmente os que moram sozinhos. Segundo o estudo conduzido no seguimento ambulatorial do Hospital das Clínicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), em São Paulo, com aproximadamente 165 idosos, os que

moram sozinhos possuem aproximadamente três vezes mais chances de não seguir os tratamentos medicamentosos corretamente (CINTRA et al., 2010).

Uma maneira de auxiliar nesta falta de adesão, é a utilização de dispensadores automatizados de medicamentos, que no uso contínuo por períodos de até 6 meses pode dobrar a aderência medicamentosa (HOFFMANN et al., 2018).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem o objetivo de desenvolver um protótipo de um dispensador automático de medicamentos, utilizando tecnologias acessíveis e de baixo custo (como placas de desenvolvimento e manufatura aditiva) para permitir a programação de horários pelos usuários e o armazenamento de quantidades significativas de remédios com alarmes de aviso para ingestão dos medicamentos.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para objetivos específicos podemos citar:

- a) Concepção e validação de um mecanismo para separação de remédios com alta precisão e repitabilidade;
- b) Desenvolvimento de um sistema de controle para coleta, armazenamento e dispensa de remédios.
- c) Criação de uma interface entre usuário e aparelho para acompanhamento de horários e utilização.
- d) Realização de testes contínuos para validação da tecnologia em principio inicial.

1.3 JUSTIFICATIVA

Dentre as alternativas avaliadas na literatura como possibilidade de aumentar a adesão medicamentosa pelos pacientes, é considerado a utilização de um dispensador automático como uma opção viável e com resultados positivos. Entretanto, nos equipamentos disponíveis no mercado, foi identificado alto custo de aquisição no mercado brasileiro e modelos com baixa acessibilidade para o público da terceira idade, um dos principais recortes acometidos pelos problemas advindos da não-aderência.

Sendo assim, coloca-se a proposição do desenvolvimento de um novo produto, através de benchmark no mercado e estudo do tema para melhor atender o recorte da população idosa e facilitar a administração e o gerenciamento de medicamentos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto de 4 capítulos subsequentes ao atual, sendo respectivamente a fundamentação teórica, que irá abordar os principais conceitos abordados para a realização do projeto, propiciando uma base bibliográfica para o estado da arte da problemática abordada.

Seguido do desenvolvimento que estará dividido entre as principais etapas do projeto, apresentando o processo de realização desde sua concepção a fabricação, bem como tangenciando os principais desafios enfrentados em cada etapa e comparações entre o inicialmente estimado e resultados finais.

Então, temos os resultados efetivos atingidos, ilustrados com o protótipo funcional e pontos de melhoria observados.

Por fim a conclusão, trazendo a generalização dos principais objetivos atingidos e o aprendizado com os resultados obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conceito base desta pesquisa é a aderência medicamentosa e a definição apresentada na introdução deste projeto pode ser expandida como a medida com a qual pacientes seguem as recomendações médicas em tratamentos medicamentosos diários com relação a frequência, tempo e dosagem (BOSWORTH *et al.*, 2011).

É importante pontuar a diferença entre os termos “adesão” e “aderência” na literatura. Apesar de estarem relacionados por ambos se referirem a ação de aderir, estes se diferenciam no fato de o primeiro estar se referindo ao ato (adesão) e o segundo estar se referindo ao efeito (aderência) (CINTRA *et al.*, 2010).

Também é relevante pontuar que podem existir diferentes classificações para a não adesão medicamentosa, segundo a literatura. A OMS, por exemplo, separa esta em duas categorias distintas, preveníveis (esquecimento ou não entendimento do paciente) e não preveníveis (efeitos adversos com risco de vida), recomendando que as principais soluções atuem no primeiro tipo (BOSWORTH *et al.*, 2011).

E as consequências da não aderência levam a baixa eficácia do tratamento médico, aumento dos custos relacionados a saúde e também taxas de morbidade e mortalidade (LEHANE e MCCARTHY apud Stephenson, 1999; Willey *et al.*, 2000; Bauman, 2002; Williams *et al.*, 2006).

A literatura recente mostra que existem múltiplos fatores de risco associados com a não aderência medicamentosa. Estes podem estar relacionados aos pacientes (idade avançada, baixa escolaridade, condição física e mental e alfabetização em saúde), aos medicamentos (complexidade do regime de medicação, alto custo de medicamentos e más instruções de uso), à relação provedor-paciente (dissatisfação com planos de saúde, falta de confiança e falta de envolvimento do paciente) e aos sistemas de saúde (incapacidade ou dificuldade de acesso à farmácias, falta de acompanhamento e tratamento ruim por funcionários mal treinados) (JIN *et al.*, 2016).

O uso de cinco ou mais medicamentos, conhecido como polifarmácia, também pode ser um fator relevante no aumento de erros na medicação (VIEIRA *et al.*, 2015). Se tratando de uma condição mais prevalente na população idosa, um estudo indica que idosos que moram sozinhos podem ter até 3 vezes mais chances de indisciplina com relação aos tratamentos medicamentosos (CINTRA *et al.*, 2010). Sendo essa a

parcela da população com maior prevalência de utilização de medicamentos no Brasil (BERTOLDI et al., 2016).

Em contra partida as medidas de intervenção para o problema, muitas vezes apresentam problemas para balancear custo e eficácia (LEHANE e MCCARTHY, 2006).

Dentre algumas das estratégias de combate a não aderência propostas na literatura estão: instrução educacional ao paciente, assistência educacional a profissionais de saúde, a distribuição de dispensadores de medicamentos (monitoramento eletrônico, packs de blisters e organizadores de remédios) e lembretes de medicação. A maior parte destes métodos obteve resultados positivos na melhora de adesão (VIEIRA *et al.*, 2015).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ESCOPO DE ALTO NÍVEL

A declaração do escopo em alto nível do projeto se dá a partir da premissa do desenvolvimento de um separador automático de medicamentos que busca auxiliar na aderência medicamentosa de seus usuários, principalmente idosos. Dessa forma, o usuário irá despejar os remédios no espaço designado pelo produto, e definir o horário em que irá tomá-los e a quantidade pelo aplicativo/web. Assim, quando o horário pré definido para tomar remédio chegar, o dispositivo irá avisar o usuário que está na hora de continuar, ou iniciar, seu tratamento. A este dispositivos denominaremos MemoMed.

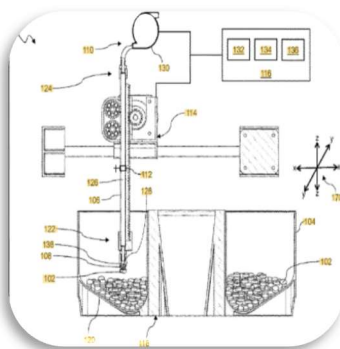
Considerando que equipamentos similares são de custos elevados e o seu uso muitas vezes é no sistema de assinatura, uma alternativa financeiramente mais barata, principalmente para o mercado brasileiro, é necessária.

Os principais requisitos deste projeto são o baixo custo comparado a equipamentos de mercado, a capacidade de armazenar até 6 remédios, programação de horários e quantidade de remédios via app/web, e avisos sonoros e luminosos para o usuário na hora de tomar os remédios. Serão utilizados componentes de custo mais baixo e maior flexibilidade para prototipagem, como ESP 32 para o controle e comunicação e impressão 3D para boa parte da estrutura do equipamento.

3.2 CONCEITOS INICIAIS

O projeto foi iniciado com a ideação de um sistema com utilização de vácuo para separação dos remédios no dispositivo:

Figura 1 – Exemplo de conceito pneumático para um separador de remédios



Fonte: Akdogan et al, Hero Health Ip LLC **US n. 20210002015A1** Disponível em <https://patents.google.com/patent/US20210002015A1/en?assignee=Hero+Health&oq=Hero+Health> .

Acesso em 07 dez. 2022

Após realização das cotações e estudo das limitações do projeto quanto a homologação para segurança do sistema pneumático para interação com os remédios, a ideia foi descartada.

Dentre outras opções consideradas para o projeto, os conceitos de parafuso de arquimedes, comumente utilizado para transporte de grãos e estudado um modelo de separador de partes pequenas, ambos descartados por não garantir uma precisão aceitável para separação dos remédios, visto a criticidade de passar ao usuário uma dose maior que o prescrito.

Figura 2 - Parafuso de arquimedes modelado.



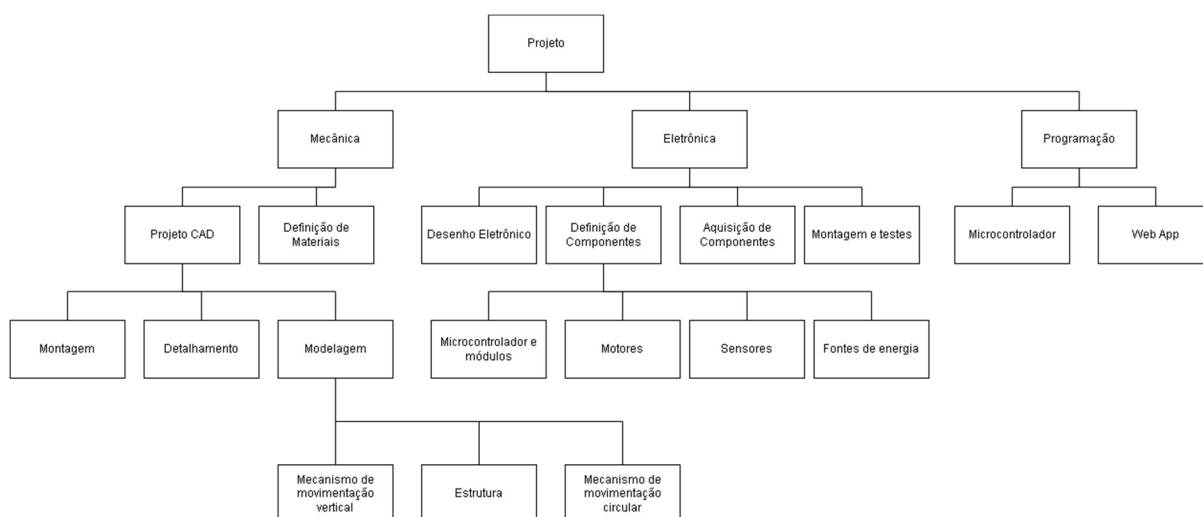
Fonte: Autoria própria.

De modo dedutivo, chegou-se ao conceito proposto a ser desenvolvido que será melhor descrito nos parágrafos a seguir.

3.3 ETAPAS DO PROJETO

Com a definição do conceito estabelecida, foi-se realizado o planejamento de execução e divisão de responsabilidades entre membros da equipe.

Figura 3 – Estrutura Análítica do Projeto



Fonte: Autoria própria

Dividido em três principais grupos, “mecânica”, “eletrônica” e “programação”, o cronograma do projeto foi definido com base no caminho crítico observado entre as partes, de modo a ser possível executar tarefas independentes em paralelo com a duração total limite para confecção do protótipo de 79 dias.

Dentre as limitações observadas para cumprimento do cronograma, observa-se o período de ideação que compôs inicialmente o modelo pneumático, sendo alterado completamente a partir da semana de número 4 do projeto.

Tabela 2 – Caminho critico do projeto

Atividades	Dependência	Descrição	Tempo Otimista	Tempo Lúcido	Tempo Pessimista	Tempo Final
Definição dos componentes eletrônicos	-	a	2	5	7	5
Definição dos materiais	-	b	1	4	7	4
Modelagem do mecanismo vertical	a,b	c	10	21	30	21
Modelagem do mecanismo horizontal	a,b	d	7	14	21	14
Modelagem da estrutura	d,c	e	4	10	14	10
Programação do controlador	a,e	f	7	16	21	16
Programação WebApp	f	g	14	21	30	22
Montagem e testes eletrônicos	f	h	7	14	21	14
Montagem mecânica	e	i	3	7	14	8
Detalhamento Mecânico	i	j	1	2	3	2
Integração e prototipagem	i,g,h	k	10	14	21	15
Total (caminho critico)						79

Fonte: Autoria Própria

Tabela 3 -Cronograma do projeto

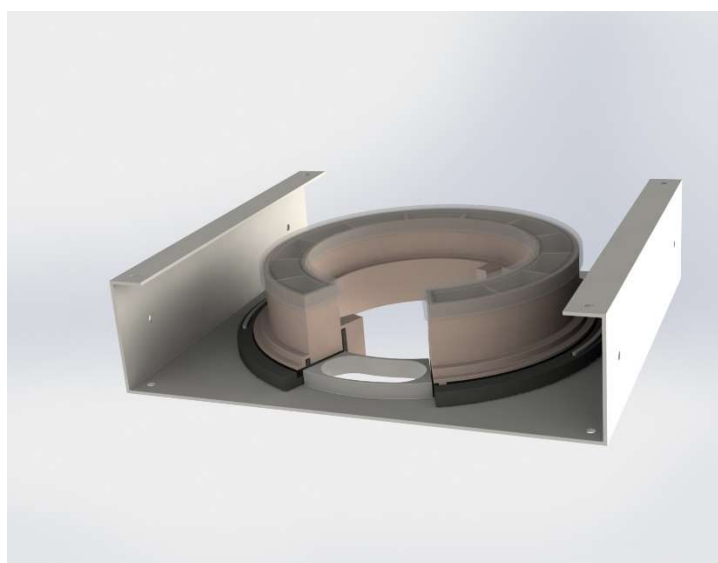
Atividade		Semana											
		1° Entrega					2° Entrega						
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	Testes do sistema eletrônico de vácuo	x	x										
2	Modelagem do sistema de movimentação vertical		x	x	x								
3	Elaboração dos códigos e circuitos para controle da movimentação vertical			x	x								
4	Testes da movimentação vertical				x	x							
5	Modelagem do sistema de movimentação circular					x	x	x	x				
6	Elaboração dos códigos e circuitos para controle da movimentação vertical					x	x	x	x				
7	Testes da movimentação circular							x	x				
8	Habilitar comunicação controlador-WebApp				x	x	x	x					
9	Testes da comunicação do WebApp com os sistemas de movimentação individuais						x	x	x				
10	Modelagem da Estrutura							x	x	x			
11	Fabricação da Estrutura									x	x		
12	Integração e testes dos sistemas de movimentação								x	x	x		
13	Projetar e adquirir PCBs									x	x	x	
14	Fazer o WebApp programável para horários e posições							x	x	x	x	x	
15	Montagem e detalhamento										x	x	x
16	Testes finais e apresentação do protótipo											x	x

Fonte: Autoria própria

3.4 ESTRUTURA E CONCEITOS MECÂNICOS

Devido a dificuldade observada em garantir que um único remédio fosse dado ao paciente nos conceitos iniciais, foi necessário adotar a premissa que o remédio já estaria separado dentro do dispositivo, para tal foi desenvolvido um compartimento variável, capaz de armazenar medicamentos envoltos ou não pelo “blister” (embalagem que preserva o medicamento).

Figura 4 – Conceito compartimento de remédios



Fonte: Autoria própria

Figura 5 – Compartimento de remédios impresso em 3D

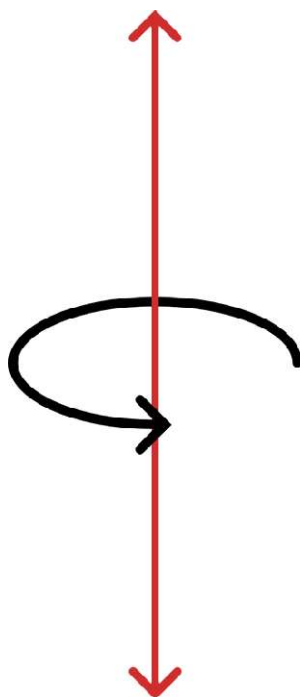


Fonte: Autoria própria

Tendo um compartimento com o remédio já separado elimina a variável do dispositivo de realizar a separação corretamente, assim o que resta é desenvolver um mecanismo de automação para dosar os remédios utilizados com base na prescrição cadastrada no aplicativo web.

O movimento estruturado se dá basicamente em dois eixos, “x” representado pela cor preta e “y” representado pela cor vermelha na figura 6 abaixo:

Figura 6 – Conceito do movimento



Fonte: Autoria própria

Esse conceito de movimento tem como premissa a redução de partes e equipamentos necessários para a automação, utilizando-se de apenas dois motores, sendo um de passo para movimento vertical utilizando um eixo roscado e outro um servo-motor para movimentação circular para girar o compartimento de remédios permitindo sua saída.

Figura 7 – Modelagem mecanismo de movimentação



Fonte: Autoria própria

Com o conceito do compartimento e de movimentação aprovados, o processo seguiu com a criação de estrutura, definição de componentes, montagem e desenhos de fabricação.

3.4.1 MODELAGEM 3D

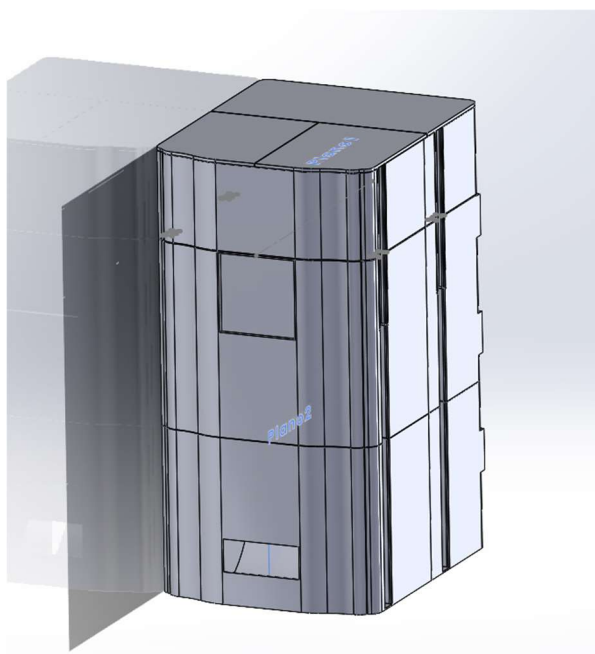
A modelagem do compartimento de remédios foi realizado de forma paramétrica, utilizando-se fórmulas matemáticas dependentes entre si das variáveis “número de capsulas do remédio”, “altura” e “espessura” e demais dimensões sendo obtidas a partir destas três variáveis básicas.

Figura 8 – Modelagem paramétrica



Fonte: Autoria própria

Figura 10 – Estrutura modelada

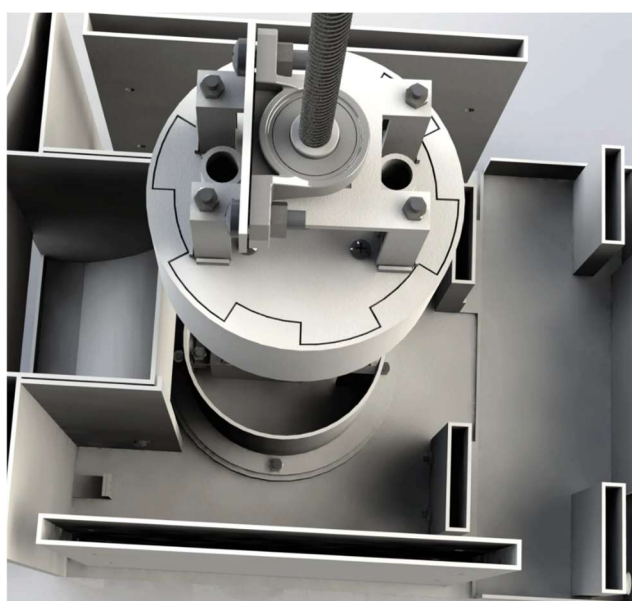


Fonte: Autoria própria

A carcaça consiste de doze perfis laterais, sendo seis geometrias espelhadas entre si, três perfis frontais, duas peças que juntas compõem a base do dispositivo e três peças que juntas compõem a tampa superior.

Além disso, internamente temos três peças centrais que são acopladores entre eixos ilustrado abaixo:

Figura 11 – Acopladores entre eixos



Fonte: Autoria própria

A parte inferior traseira é fechada para manter a fiação, microcontrolador e demais componentes eletrônicos fora da visualização do usuário.

Figura 12 – Visão traseira



Fonte: Autoria própria

O sistema de gavetas, como foi denominado o espaço onde os compartimentos de medicamentos é instalado, foi projetado pensado para retirada e encaixe rápido, sendo expansível e modular, para permitir a quantidade de medicamentos personalizada para cada necessidade.

Figura 13 – Sistema de gavetas



Fonte: Autoria própria

3.4.3 FABRICAÇÃO

A estrutura de armazenamento dos remédios, assim como a carcaça do equipamento, são produzidos a partir do método de manufatura aditiva conhecida como impressão 3D por filamento, onde uma máquina de controle numérico computadorizado (CNC) despeja um filamento quente em camadas através de um extrusor, construindo as peças aos poucos.

A impressora é programada utilizando-se de um código G, geralmente gerado a partir de modelos desenhados em computador em *softwares* de fatiamento.

O modelo de impressora utilizado é o Ender 3 da empresa Creality, sendo o *software* de fatiamento o Ultimaker Cura e as peças modeladas utilizando o *software* “SOLIDWORKS”.

Um dos grandes desafios enfrentados ao longo do projeto foi o tempo de fabricação necessário para impressão das peças, realizado através de manufatura aditiva. O grupo contava com uma única impressora com área de impressão real limitada a 180x180mm devido a erros que ocorrem na impressão quando a mesma é situada muito próximo aos limitrofes da base da impressora.

Sendo assim, foi necessário a terceirização de algumas impressões para agilizarmos o processo de fabricação, encarecendo também o projeto através de fretes e outros custos não planejados.

Ao todo, foram ao menos 3kg de filamentos e 327 horas totalizadas para impressão de todas as peças. Foram utilizados PET-G transparente e ABS preto como matéria-prima principal para a estrutura.

Tabela 5 – Acompanhamento de impressões

Impressões	Tempo (hrs)	Filamento (g)	Concluido
Montagem final - Base Geral-1 Acopladores-1 11K - Acoplador Servo-Nema-2.STL	24	173	
Montagem final - Base Geral-1 Acopladores-1 12L - Acoplador Nema-Eixo-1.STL			
Montagem final - Base Geral-1 Atuador 2-1.STL			
Montagem final - Base Geral-1 Servo e acoplador-1 28AB - Acoplador Base-Servo-1.5			
Montagem final - Base Geral-1 22V - Suporte gavetas-1 STL	8	57	
Montagem final - Base Geral-1 Acopladores-1 3C - Suporte mancais inferior-1.STL			
Montagem final - Base Geral-1 Acopladores-1 8H - Base suporte mancais inferior-1.STL			
Montagem final - Base Geral-1 16P - Lateral direita traseira - inferior-1.STL			
Montagem final - Base Geral-1 17Q - Lateral esquerda frontal - inferior-1.STL	26	323	
Montagem final - Base Geral-1 26Z - Lateral direita frontal - inferior-1.STL			
Montagem final - Base Geral-1 9I - Lateral esquerda traseira - inferior-1.STL			
Montagem final - Base Geral-1 5E - Suporte mancais superior-1.STL			
Montagem final - Base Geral-1 Base-1 18R - Base traseira-1.STL	9	91	
Montagem final - Base Geral-1 Base-1 27AA - Base-1.STL	30	337	
Montagem final - Gavetas-1 CD-Gaveta-1.STL	25	203	
Montagem final - Base Geral-1 24X - Perfil frontal inferior-1.STL	31	240	Última entrega
Montagem final - Base Geral-1 19S - Suporte traseiro-1.STL	18	247	
Montagem final - 13M - Lateral direita traseira - intermediária-1.STL	10	106	Emerson
Montagem final - 21U - Lateral esquerda traseira - superior-1.STL	13	125	
Montagem final - 23W - Lateral esquerda frontal - superior-1.STL			
Montagem final - 6F - Lateral direita frontal - superior-1.STL			
Montagem final - 4D - Lateral esquerda traseira - intermediária-1.STL			Walker
Montagem final - 7G - Lateral direita traseira - superior-1.STL	14	140	
Montagem final - 2B - Lateral direita frontal - intermediária-2.STL	18	151	Walker
Montagem final - 25AC - Telo esquerdo-1.STL	6	45	
Montagem final - 20Y - Telo traseiro-1.STL	10	76	
Montagem final - 20T - Telo direito-1.STL	8	51	
Montagem final - 15O - Lateral esquerda frontal - intermediária-2.STL	18	151	Emerson
Montagem final - 10J - Perfil frontal intermediária-1.STL	31	252	Última entrega
Montagem final - 14N - Perfil frontal superior-1.STL	10	88	Última entrega
Montagem final - 1A - Fecho porta-1.STL	16	159	
Montagem final - 30AD - Porta inferior-1.STL			
Montagem final - 31AE - Porta superior-1.STL			
Montagem final - Clix105-1.STL			
Montagem final - Clix155-1.STL	2	15	
Montagem final - Clix160-1.STL			
TOTAIS	327	3030	

Fonte: Autoria própria

3.5 CUSTOS

O planejamento do projeto estipulou custos totais de R\$ 1000,00, sendo iniciado com o planejamento para um sistema a vácuo:

Tabela 6 – Estimativa de custo inicial

Item	Descrição	Un	Custo total (R\$)
1	Produção em manufatura aditiva	-	350,00
2	ESP32	1	49,88
3	Válvula Solenóide 5V 3 vias	1	50,23
4	Bomba de ar para vácuo	1	30-50
5	Motor de passo	1	70-100
6	Driver para motor de passo	1	30-50
7	Sistema cremalheira (cremalheira, engrenagem, motor e etc)	1	100-200
8	Parafusos e peças para montagem	1	50-100

Fonte: Autoria própria

Com a evolução do projeto e mudança do conceito, foi mantido como limite máximo o valor inicial estipulado, alterando contudo a lista de componentes.

Em geral, o custo do protótipo reduziu na maior parte dos componentes, possibilitando que fosse utilizado materiais menos complexos e com menores restrições de carga e comuns no mercado.

Através de doações e reuso, foi possível mitigar completamente o custo de alguns dispositivos utilizados no protótipo, em contrapartida os custos não planejados com manufatura aditiva, superaram e muito a estimativa prevista para essa atividade, sendo possível observar um gasto 53,14% maior que o estimado para esse segmento e representa 66% do custo total do projeto. O segundo maior custo foi na aquisição dos componentes para movimentação no eixo roscado, peças foram compradas já usinadas e em tamanho padrão de mercado.

Os custos finais do projeto ficaram em R\$ 817,19, um total de 18% abaixo do custo final estimado, adicionando a esse custo as peças doadas ou de outras destinações, estima-se um custo total de R\$ 992,19, estando ainda dentro do orçamento definido.

Tabela 7 – Custo real do projeto

Item	Descrição	Un	Custo total (R\$)
1	Produção em manufatura aditiva	-	536,00
2	ESP32	1	49,88
3	Eixo Retificado 8mm	1	56,33
4	Kit Movimento Cnc 3d	1	125,00
5	Motor de passo nema 17 + driver	1	-
6	Servo motor	1	-
7	Conversor buck	1	18,99
8	Sensor de barreira	2	10,99
9	Parafusos	-	
10	Jumpers para montagem	-	20,00

Fonte: Autoria própria

3.6 MICROCONTROLADOR

A placa de desenvolvimento que será utilizada como microcontrolador é a placa ESP32. Esta possui um conjunto características de que serão úteis ao projeto, das quais as de maior relevância são:

- Interface WIFI;
- 34 portas programáveis;
- Controlador de motor por modulação de largura de pulso.

O ESP32 foi escolhido ao invés de outros controladores, como o Arduino por exemplo, por sua maior capacidade de processamento, visto que o objetivo é utilizar apenas uma placa para o controle de todo o equipamento, além de seu custo comparativamente mais baixo com relação a equipamentos similares.

Figura 16 – ESP32



Fonte: Autor desconhecido, disponível em: <https://a-static.mlcdn.com.br/800x560/placa-esp32-wifi-e-bluetooth-loja-da-eletrica/lojadaeletrica/2925155425/97c8003f04c64a5b7096656974604f07.jpg> , Acesso em 07 de dezembro de 2022

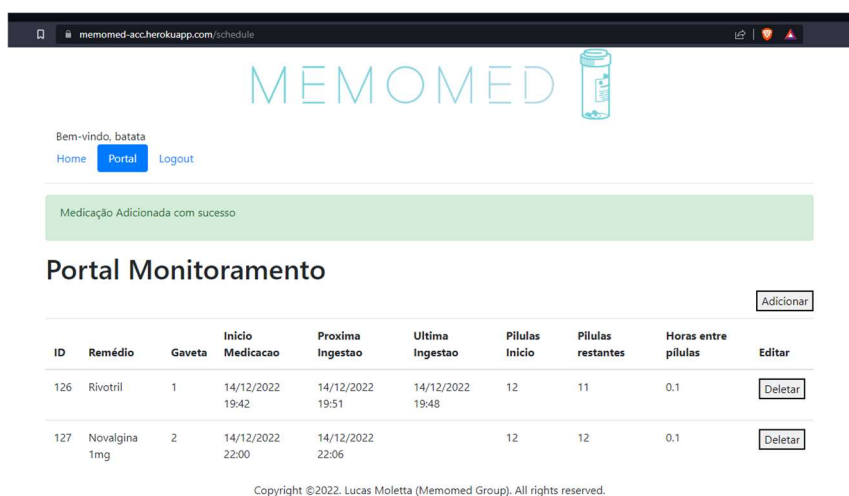
Outro fator relevante é a alta gama de componentes e módulos que podem ser utilizados com o ESP32, garantindo assim uma ótima versatilidade na escolha dos demais equipamentos.

A interface de desenvolvimento que será utilizada para a programação é a do Arduino, que é compatível com o controlador escolhido. A linguagem utilizada será C++

3.7 PLATAFORMA ONLINE

A solução conta com um portal, no qual o usuário poderá cadastrar as informações de seus medicamentos, com intuito de que baseado nesse cadastro o produto seja capaz de entregar as doses de medicamentos desejada nos horários especificados, juntamente com os devidos alertas para o paciente.

Figura 17 – Interface portal



Fonte: Autoria própria

3.7.1 ARQUITETURA

O programa foi codificado usando a linguagem de programação Python. Buscando a facilidade de integração com a internet, foi feito o uso do framework de desenvolvimento WEB, Flask.

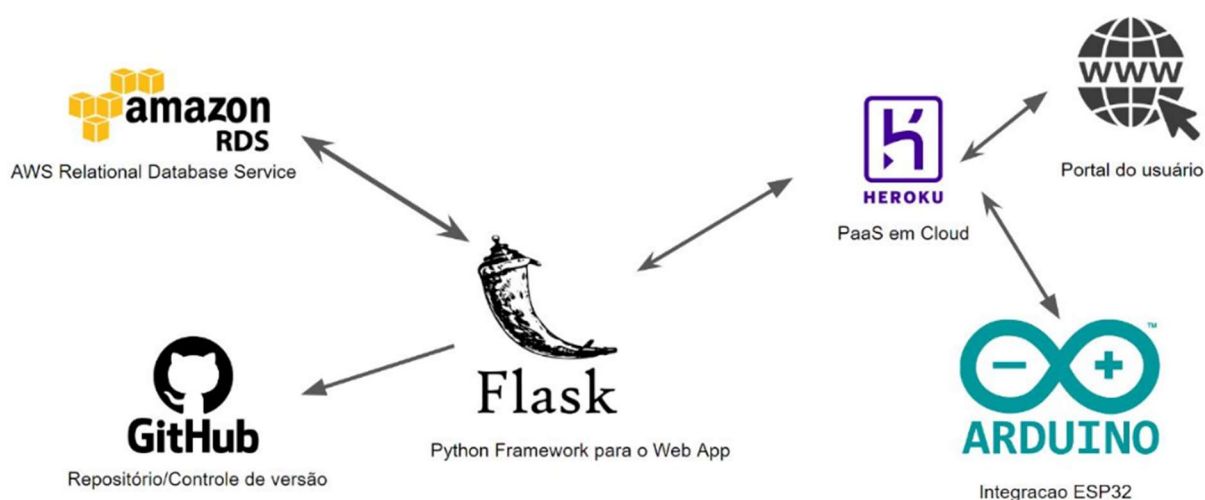
Foi também utilizado o PostgreSQL, um banco de dados relacional, hospedado no serviço de nuvem da Amazon, o AWS (Amazon Web Services). O banco de dados busca guardar os dados a respeito de cadastro de usuários, dos próprios medicamentos, e também da agenda de ingestão dos mesmos. No qual esses dados serão consultados pelo ESP32, para controlar o seu acionamento.

Para que o portal esteja acessível através da internet publicamente, tanto para os usuários quanto para o próprio microcontrolador realizar as consultas necessárias,

foi utilizado a plataforma Heroku para a hospedagem do mesmo. Desta forma o portal pode ser acessado pelo seguinte link: <https://memomed-acc.herokuapp.com/>.

Adicionando a isso, vale ressaltar que foi utilizado a plataforma GitHub como repositório e para controle de versionamento de código. Desta forma, a figura 4 abaixo exemplifica a estrutura da plataforma.

Figura 18 - Arquitetura do portal

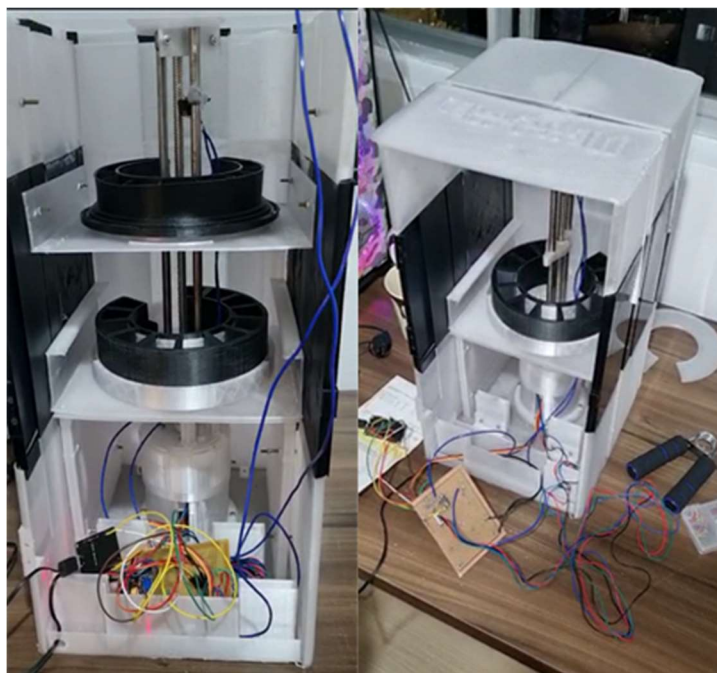


Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS

A equipe foi capaz de realizar a criação de um protótipo funcional, de dimensões totais de 430mm de altura, 220mm de largura e 270mm de comprimento, fabricado majoritariamente através de impressão 3D, capaz de realizar a dosagem de pílulas e comprimidos conforme prescrito, através de agendamento eletrônico.

Figura 19 – Protótipo 1 MemoMed montado



Fonte: Autoria própria

Figura 20 – Remédio separado pelo protótipo



Fonte: Autoria própria

Figura 21 – Visão frontal prótipo montado

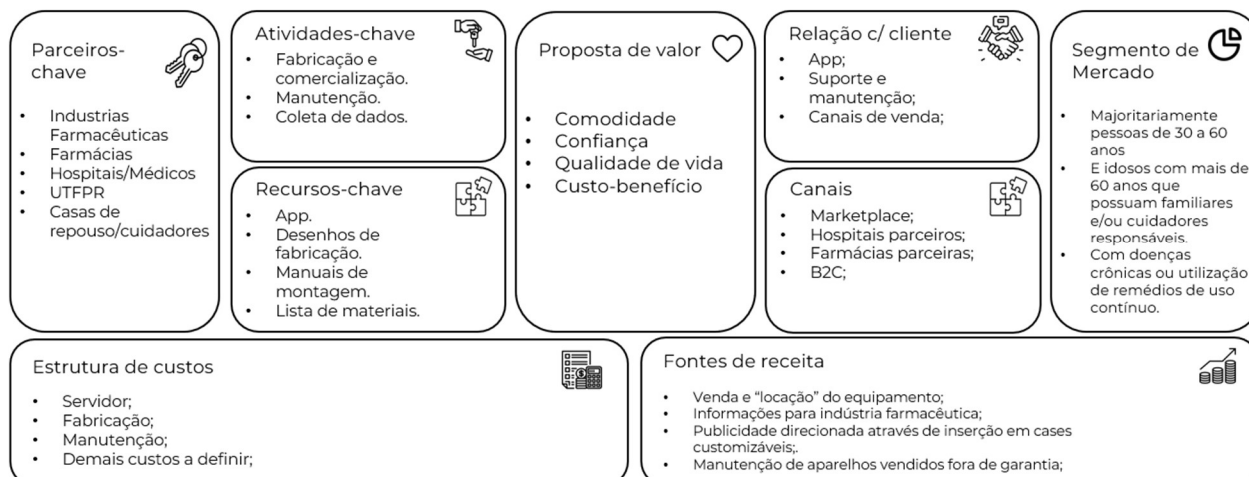


Fonte: Autoria própria

Para uma segunda versão deste dispositivo, faz-se necessário alterações estruturais, a fim de facilitar fabricação ou mesmo mudanças de materiais a serem avaliados, além disso a fase de condução de testes de repetibilidade e auxílio no aumento a aderência medicamentosa ainda não foram finalizados, impossibilitando a avaliação real da eficácia do protótipo produzido nesse primeiro momento.

Partindo da ideação desse protótipo e seguindo a justificativa que permeia este trabalho, também foi pensado um modelo de negócio para evolução posterior do projeto, pensado na escolha do usuário entre um modelo de assinatura (devolução do produto ao fim da utilização) e aquisição do produto. O modelo de negócio ainda precisa ser melhor detalhado, bem como a estrutura de custos atualizada para refletir modificações citadas como possibilidade de melhoria.

Figura 22 – Canvas MemoMed



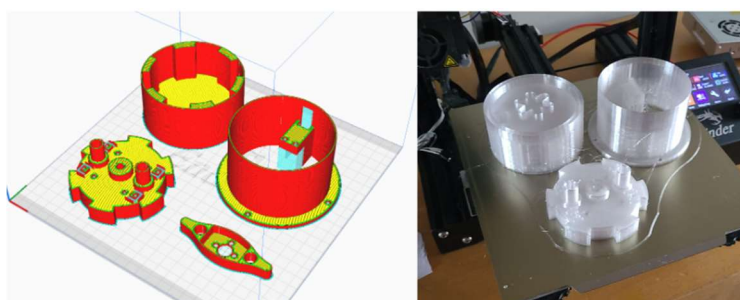
Fonte: Autoria própria

5 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido ao longo da disciplina Projeto Integrador I, possibilitou a equipe a vivenciar a concepção, gestão e fabricação de um protótipo funcional e inúmeros foram os desafios enfrentados para manter a essência do projeto ao longo da sua evolução.

Já na etapa de ideação, ao menos quatro diferentes tipos de conceitos foram tangenciados pela equipe no intuito de tornar viável um protótipo de custo acessível e funcional para o público-alvo designado, e sua viabilidade avaliada de acordo com custo e eficácia da aplicação. Com um conceito definido, o maior desafio tornou-se a fabricação, sendo necessário ajustes para garantir a boa impressão das peças.

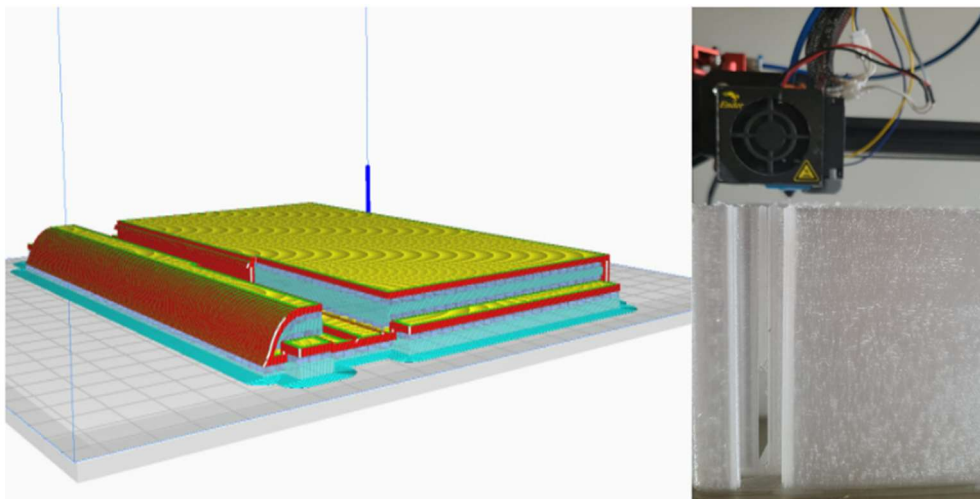
Figura 23 – Prototipagem das peças finais



Fonte: Autoria própria

Na utilização da manufatura aditiva e com as limitações existentes no conjunto de fabricação, foram necessários ajustes na direção de impressão e suportes existentes do conjunto para viabilizar o projeto.

Figura 24 – Processo de impressão e ajustes na direção das peças



Fonte: Autoria própria

A necessidade de atender as especificações de tamanho máximo na mesa de impressão, geraram um número elevado de diferentes perfis, que aumentam a complexidade de montagem e a resistência observada do protótipo.

De modo geral, com as adequações observadas para um segundo modelo, o potencial da ideia percebido pela equipe é promissor.

6 REFERÊNCIAS

ARAIN, M. A.; AHMAD, A.; CHIU, V. Medication adherence support of an in-home electronic medication dispensing system for individuals living with chronic conditions: a pilot randomized controlled trial. **BMC Geriatr**, v. 21, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12877-020-01979-w>. Acesso em: 18 out. 2022.

ARAIN, M. A.; AHMAD, A.; CHIU, V. Users' Perceptions of an in-Home Electronic Medication Dispensing System: A Qualitative Study. **Med Devices (Auckl)**, v. 13, p. 31-39, fev. 2020. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7023880/>. Acesso em: 18 out. 2022.

BASTANI, P.; BIKINEH, P.; MEHRALIAN, G. Medication adherence among the elderly: applying grounded theory approach in a developing country. **J of Pharm Policy and Pract**, v. 14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40545-021-00340-9>. Acesso em: 18 out. 2022.

BERTOLDI, A. D.; PIZZOL, T. S. D.; RAMOS, L. R.; MENGUE, S. S.; LUIZA, V. L.; TAVARES, N. U. L.; FARIAS, M. R.; OLIVEIRA, M. A.; ARRAIS, P. S. D.; Perfil sociodemográfico dos usuários de medicamentos no Brasil: resultados da PNAUM 2014. **Rev. Saúde Pública**; 50(supls 2):5s. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rsp/a/gdWgwPFBgtDwr9V9B5nxhWw/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 5 de out. 2022.

BOAS, Lilian Cristiane Gomes Villas. **Apoio social, adesão ao tratamento e controle metabólico de pessoas com Diabetes Mellitus tipo 2**. 2009. Dissertação (Mestrado em Enfermagem Fundamental) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

BOSWORTH, H. B.; BRADI, B. G.; MENDYS, P.; BRINDIS, R.; BURKHOLDER, R.; CZAJKOWSKI, S. M.; DANIEL, J. G.; EKMAN, I.; HO, M.; JOHNSON, M.; KIMMEL, S. E.; LIU, L. Z.; MUSAUS, J.; SHRANK, W. S.; BUONO, E. W.; WEISS, K.; GRANGER, C. B. Medication adherence: A call for action. **American Heart Journal**, v. 162, n. 3, p. 412-424, 2011. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002870311004753>. Acesso em: 18 out. 2022.

BROWN, M. T.; BUSSEL, J.; DUTTA, S.; DAVIS, K.; STRONG, S.; MATHEW, S. Medication Adherence: Truth and Consequences. **The American Journal of the Medical Sciences**, v. 351, n. 4, p. 387-399, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002962915379969>. Acesso em: 18 out. 2022.

CHISHOLM-BUMS, M. A.; SPIVEY, C. A. The 'cost' of medication nonadherence: Consequences we cannot afford to accept. **Journal of the American Pharmacists Association**, v. 52, p. 823-826, dez. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544319115305719>. Acesso em: 31 ago. 2022.

CINTRA, F. A.; GUARIENTO, M. E.; MIYASAKI, L. A. Adesão medicamentosa em idosos em seguimento ambulatorial. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 15, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232010000900025>. Acesso em: 18 out. 2022.

CUTLER, R.; FERNANDEZ-LLIMOS, F.; FROMMER, M.; BENRIMOJ, S.; GARCIA-CARDENAS, V. Economic impact of medication non-adherence by disease groups: a systematic review. **BMJ open**, jan. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29358417/>. Acesso em: 10 set. 2022.

DEWULF, N. L. S.; MONTEIRO, R. A.; PASSOS, A. D. C.; VIEIRA, E. M.; TRONCON, L. E. A.; Adesão ao tratamento medicamentoso em pacientes com doenças gastrintestinais crônicas acompanhados no ambulatório de um hospital universitario. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, vol. 42, n.4, out./dez., 2006.

FARAH, Livia Xavier Soares. **Adesão medicamentosa de pacientes com insuficiência cardíaca e dispositivo cardíaco eletrônico implantável: perfil psicológico e fatores de influência**. 2020. Tese (Doutorado em Cardiologia) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

HOFFMANN, C.; SCHWEIGHARDT, A.; CONN, K. M.; NELSON, D.; BARBANO, R.; MARSHALL, F.; BROWN, J. Enhanced Adherence in Patients Using an Automated Home Medication Dispenser. **The Journal of Healthcare Quality**, ago. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28749791/>. Acesso em: 10 set. 2022.

JIN H.; KIM Y.; RHIE S. J. Factors affecting medication adherence in elderly people. **Patient Prefer Adherence**, v.10, p. 2117-2125, out. 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5077271/>. Acesso em: 18 out. 2022.

KINI, V.; HO, P. M. Interventions to Improve Medication Adherence: A Review. **JAMA**, v. 320, p. 2461-2473, 2018. Disponível em: <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/2718800>. Acesso em: 18 out. 2022.

KRETCHY, I. A.; ASIEDU-DANSO, M.; KRETCHY, J. Medication management and adherence during the COVID-19 pandemic: Perspectives and experiences from low- and middle-income countries. **Research in Social and Administrative Pharmacy**, v. 17, n. 1, p. 2023-2026, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1551741120303326>. Acesso em: 18 out. 2022.

MANSOUR, Samir Nicola. **Avaliação da adesão ao tratamento medicamentoso em situação de pleno acesso farmacológico de pacientes com hipertensão arterial**. 2015. Dissertação (Mestrado em Medicina Preventiva) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

PATTON, Deborah. **Improving medication adherence in older adults prescribed polypharmacy**. 2017. Tese (Doutorado em Filosofia) - Faculty of Medicine, Health and Life Sciences School of Pharmacy, Queen's University Belfast, Belfast, 2017. Disponível em: https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/portalfiles/portal/137195782/Full_thesis_Deborah_Patton_FINAL_HARD_COPY_23.10.17.pdf. Acesso em: 08 set. 2022.

REMONDI, Felipe Assan. **Não adesão ao tratamento medicamentoso contínuo e fatores associados: estudo de base populacional**. 2012. 91f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

SOUSA, Patrick Luis Cruz de. **Avaliação da adesão à terapia medicamentosa em hipertensos de unidades de saúde do distrito DAGUA no município de Belém-Pará**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências da Saúde, Belém, 2012. Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas.

VIEIRA, L. B.; UETA, J.; PEREIRA, L. R. L. Adherence to medication before and after the use of a Drug-Dispensing System with usage control. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1984-82502015000200010>. Acesso em: 31 ago. 2022.

VIEIRA, E. P.; CAVALLARO, L. LIMA, G. E. G; OLIVEIRA, L. G. Análise a adesão à terapêutica medicamentosa dos portadores de lúpus eritematoso sistêmico, atendidos em uma clínica especializada na cidade de Juiz de Fora – MG. **Revista Científica UNIFAGOC – Saúde**, vol. 6, n.2, 2021.

WHO, World Health Organization. **Adherence to long-term therapies: evidence for action**. 2003. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42682/9241545992.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 18 out. 2022.

ZULIG, L. L.; BLALOCK, D. V.; DOUGHERTY, S.; HENDERSON, R.; HA, C. C.; OAKES M. M.; BOSWORTH, H. B. The new landscape of medication adherence improvement: where population health science meets precision medicine. **Patient Prefer Adherence**, jul. 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6049050/>. Acesso em: 10 set. 2022.