

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LUÍS FELIPE ROSO SORDI

ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE POSSÍVEL MITIGADOR DA
PROPAGAÇÃO DE SARS-COV-2 EM RESIDÊNCIAS

São Carlos
2020

LUÍS FELIPE ROSO SORDI

ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE POSSÍVEL MITIGADOR DA
PROPAGAÇÃO DE SARS-COV-2 EM RESIDÊNCIAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Materiais e Manufatura, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Materiais e Manufatura.

Orientador: Profa. Dra. Vera Lúcia Arantes

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos
2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

S713e Sordi, Luís Felipe Roso
 ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE POSSÍVEL MITIGADOR
DA PROPAGAÇÃO DE SARS-COV-2 EM RESIDÊNCIAS / Luís
Felipe Roso Sordi; orientador Vera Lúcia Arantes. São
Carlos, 2020.

Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais
e Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2020.

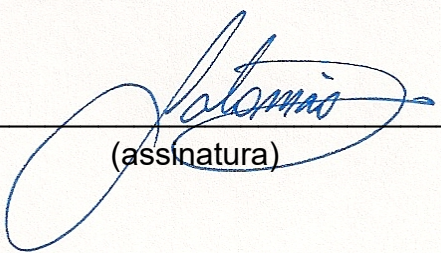
1. UVC. 2. Desenvolvimento de produto. 3.
Mitigação da evolução da pandemia. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Luís Felipe Roso Sordi
Título do TCC: ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE POSSÍVEL MITIGADOR DA PROPAGAÇÃO DE SARS-COV-2 EM RESIDÊNCIAS
Data de defesa: 27/11/2020

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Doutor Vera Lúcia Arantes (orientador)	APROVADO
Instituição: EESC - SMM	
Professor Doutor Janaina Mascarenhas Hornos da Costa	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	
Professor Doutor Carina Campese	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	

Presidente da Banca: **Professor Associado Rafael Salomão**



(assinatura)

DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho a todas as
pessoas que, direta ou
indiretamente, possibilitaram-me
transcorrer esse período da minha
vida.*

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Vera Helena Roso e ao meu pai, Antonio Carlos Sordi, sem vocês não poderia estudar em São Carlos.

Às minhas irmãs Ana Helena Roso Sordi e Julia Choueri Sordi por me apoiarem quando estava estressado com a universidade.

À minha avó Nancy Maria Benelli e ao meu avô, Jayme Vita Roso, que além de serem base da família, proporcionaram-me ensino básico de qualidade.

À minha namorada Ana Paula Satudi, por ser minha parceira e sempre me incentivar na luta pela formatura.

Ao meu primo Fábio Walker, pelas discussões e insights nesse projeto.

Ao Grupo Escoteiro Carajás e a todos os seus integrantes vocês foram fundamentais no meu desenvolvimento como cidadão.

À querida professora Janete Crema Simal, que no meu maior momento de dificuldade na graduação, estendeu um braço amigo e me ajudou muito.

Aos professores Farid Tari, Ali Tahzibi, Nivaldo de Góes Grulha Junior e Janete Crema Simal, por transformarem as temidas disciplinas do ICMC em aulas interessantes e prazerosas.

Aos professores Kleber Damasceno, Janaína Costa e Mateus Gerolamo, por trazerem ao máximo metodologias aplicadas à sala de aula. Obrigado por não se limitarem ao modelo tradicional de ensino.

Aos professores do departamento de Engenharia de Materiais e Manufatura, por se dedicarem incessantemente em construir um curso atual e relevante às necessidades do mercado.

E um agradecimento especial a minha orientadora Vera Lúcia Arantes, por aceitar meu projeto e ser compreensiva com as dificuldades que um graduando passa ao formar durante uma pandemia. Muito obrigado.

EPÍGRAFE

“Let me tell you something you already know. The world ain’t all sunshine and rainbows. It is a very mean and nasty place and I don’t care how tough you are, it will beat you to your knees and keep you there permanently if you let it.

But it ain’t about how hard you hit; it’s about how hard you can get hit and keep moving forward. It’s how much you can take and keep moving forward. That’s how winning is done.

Now, if you know what you’re worth go out and get what you’re worth. But you gotta be willing to take the hits, and not point fingers saying you ain’t where you are because of him, or her, or anybody. Cowards do that and that ain’t you. You’re better than that!”

(Rocky Balboa, 2006)

RESUMO

SORDI, L. F. S. **Estudo sobre a viabilidade de possível mitigador da propagação da SARS-CoV-2 em residências**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Além dos grandes problemas de saúde pública e econômica causados pela SARS-CoV-2, a pandemia criou o desafio logístico de higienizar objetos trazidos para o interior das residências. Uma vez que alguns produtos não podem ser desinfetados por métodos convencionais com álcool ou sabão, foi utilizado princípios de metodologia de projetos para buscar uma solução cabível a esse problema. Com o avançar das pesquisas e maior entendimento das necessidades da Persona de interesse, o uso de luz ultravioleta surgiu como uma alternativa em potencial. Assim, nesse estudo será analisada a viabilidade técnica, econômica e de usabilidade para a criação de um produto que utilize dessa tecnologia para mitigar o problema.

Palavras-chave: UVC. Desenvolvimento de produto. Mitigação da evolução da pandemia.

ABSTRACT

SORDI, L. F. S. **Study about the viability of a possible mitigator to the spread of SARS-CoV- 2 inside residencies.** 2020. Final Course Project – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2020.

Besides public health and economic crises caused by SARS-CoV-2, the pandemic created a new logistic challenge to disinfect objects brought inside households. Once some products cannot be disinfected by wet means, hence alcohol and soap, the scientific method was used to propose a viable mitigator. With the understanding of a Persona necessities and limitations, UVC lighting was deemed as a potential alternative. Therefore, this study will analyze the technical and economic viability of a product using UVC technology.

Keywords: UVC. Product development. Pandemic mitigation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Degradação do DNA por radiação UVC	31
Figura 2 – Degradação de corda de polipropileno	32
Figura 3 – UV Surface da empresa Biolambda©	34
Figura 4 – UV BioseptHome da empresa Bioset™.....	34
Figura 5 – CleanerBox	35
Figura 6 – Higienizador de Máscara da Biolambda©.....	36
Figura 7 – Representação do Interior Câmara de Descontaminação	37
Figura 8 – Croqui do Protótipo	38
Figura 9 – Mockup de protótipo semelhante	39
Figura 10 – Diagrama da distância máxima de iluminação	40
Figura 11 – Local da caixa de desinfecção	45
Figura 12 – Caixa de desinfecção	46
Figura 13 – Máscara degradada	47
Figura 14 – Itens depois de um ciclo.....	48
Figura 15 – Layout dos componentes da caixa UV	57
Figura 16 – Recobrimento das paredes internas com papel alumínio	58
Figura 17 – Montagem das paredes e fixadores das lâmpadas	59
Figura 18 – Furação para instalação do arame	59
Figura 19 – Instalação dos fios	60
Figura 20 – Instalação dos reatores	60
Figura 21 – Caixa completa	61
Figura 22 – Caixa em operação	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de Necessidades dos Usuários	27
Tabela 2 – Descrição de Materiais	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADN	–	Ácido Desoxirribonucleico
ARN	–	Ácido Ribonucleico
EPI	–	Equipamento de proteção individual
LED	–	Light Emitting Diode (traduzido do inglês: diodo emissor de luz)
UV	–	Radiação Ultra Violeta
UVA	–	Radiação Ultra Violeta tipo A
UVB	–	Radiação Ultra Violeta tipo B
UVC	–	Radiação Ultra Violeta tipo C
SARS-CoV-2	–	Síndrome Respiratória Aguda Coronavírus 2 (traduzido do inglês: <i>severe acute respiratory syndrome coronavirus 2</i>)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	27
2.1.1 Água e Sabão	29
2.1.2 Mistura de 70% Álcool Etílico 30% Água	29
2.1.3 Solução de Hipoclorito de sódio 0,5% (água sanitária 0,5%)	29
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
4 ANÁLISE DAS SOLUÇÕES DISPONÍVEIS	33
4.1 Dispositivos portáteis	33
4.1 Dispositivos fixos	35
5 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO	37
6 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	39
7 OBSERVAÇÕES DE USO	45
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
9 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A – Montagem do Protótipo	57

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um produto, ou mais especificamente uma solução de um problema, parte da compreensão do desafio enfrentado pela Persona de interesse. De acordo com a agência de publicidade Rockcontent: “Persona é um personagem fictício que representa o cliente ideal de uma empresa e é baseado em dados de clientes reais (como: comportamento, dados demográficos, problemas e objetivos)” e tem como objetivo “criar um perfil que sintetize as principais características dos clientes para que a marca consiga criar estratégias alinhadas ao seu público e capazes de atender suas demandas” (PEÇANHA, 2020). Assim, a definição da Persona é fundamental para direcionar o desenvolvimento de qualquer projeto.

Neste trabalho específico, o desafio a ser enfrentado é a dificuldade de desinfetar objetos trazidos ao interior das residências de forma segura e eficiente, a fim de evitar a propagação do vírus SARS-CoV-2. Este projeto deve, obrigatoriamente, atender alguns critérios, como ser embasado pelo método científico, formulado por métodos comprovados, ser seguro, funcional, durável, competitivo, de fácil manuseio e fabricável.

Para auxiliar nesse processo, destaca-se o conceito de metodologia de projeto que é essencialmente um exercício de criatividade aplicada. Muitas metodologias de projeto foram definidas para ajudar a organizar e enfrentar os casos em que a definição do problema é vaga e para os quais muitas soluções possíveis existem (NORTON, 2013). A metodologia de projetos utilizada é indicada a seguir, nas seguintes etapas (NORTON, 2013):

1. Identificação da necessidade - geralmente consiste em uma exposição mal definida do problema;
2. Pesquisa de suporte - é necessária para definir e compreender completamente o problema, sendo depois possível estabelecer o objetivo;
3. Objetivo - de forma mais razoável e realista do que na exposição original do problema;
4. Especificação de tarefas - criação de um conjunto detalhado que delimitam o escopo do projeto e seus parâmetros;
5. Síntese - busca de alternativas de projeto sem considerar seu valor e qualidade;
6. Análise - as soluções já implementadas descobertas na etapa anterior são analisadas para guiar o projeto;
7. Seleção - a solução mais promissora é escolhida;

8. Projeto - quando um projeto aceitável é selecionado pode ser realizado. Nesta etapa, todos os parâmetros são escolhidos, o dimensionamento é feito e o desenho final das peças é realizado.

9. Protótipo e teste - a construção real do projeto é feita pela primeira vez como um protótipo na etapa 9;

10. Produção – validado o protótipo, sua utilidade e segurança, é disponibilizada ao mercado.

Por uma questão de simplificação e exposição de ideias, alguns dos itens acima serão agregados a um mesmo item.

2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A definição do problema a ser enfrentado neste trabalho advém da observação do comportamento e medos da Persona de interesse: idoso(a), com comorbidade que possui poder aquisitivo, decorrente do alastramento da pandemia de SARS-CoV-2.

Surgiu a preocupação por parte desse grupo em garantir sua segurança já a partir do decreto nº 64.881 do Governo do Estado de São Paulo instaurando o período de quarentena com início em dia 22 de março de 2020 (DÓRIA, 2020).

Já nas primeiras semanas foi relatada a dificuldade de higienizar objetos trazidos por compras online e entregas em geral. A falta de sensação de segurança foi observada pela dificuldade de higienizar caixas de papelão, cartas, dinheiro e outros materiais. Também foi um fator de receio o risco de danificar as embalagens ou produtos trazidos com os métodos convencionais de limpeza (álcool, sabão e água sanitária). Além dessas queixas, havia a necessidade de higienizar máscaras usadas, especialmente as N95, que apesar de serem descartáveis são mais eficientes do que as caseiras (DAVIES, 2013) e que estavam em falta no mercado e não podem ser molhadas.

Pensando em todas essas observações, foi elaborada a seguinte matriz de necessidades dos usuários:

Tabela 1 – Matriz de Necessidades dos Usuários

ID	Necessidade	Descrição	Justificativa	Prioridade
1	Saúde	O usuário quer proteger-se o máximo possível do coronavírus	Diminuir riscos a sua vida	Essencial
2	Durabilidade	O usuário não quer degradar ou contaminar os itens comprados que chegam a sua casa	Diminuir danos à sua propriedade e recursos	Desejável

ID	Necessidade	Descrição	Justificativa	Prioridade
3	Otimização	Garantir de que terá máscaras suficientes, sem a necessidade de estocar grandes volumes	Garantir estoque pessoal	Desejável
4	Velocidade	Diminuir o tempo e esforço necessários para desinfetar os itens adquiridos	Aumentar praticidade na rotina de limpeza	Desejável

Fonte: (SORDI, 2020)

Resumindo, a dor da Persona é a falta de sensação de segurança devido a incapacidade de eliminar o vírus da superfície de materiais ou objetos que não podem ser descontaminados pelos métodos convencionais sugeridos pelo Ministério da Saúde do Brasil, Organização Mundial da Saúde e pelo Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos (solução de álcool, solução de sabão e solução de água sanitária). Serão exploradas as características desses métodos para melhor entender suas limitações e então facilitar a proposição de um método que os minimize.

Porém, antes de abordar as técnicas de descontaminação de uso doméstico, é importante ressaltar a diferença entre limpeza, descontaminação e sanitização. (CDC, 2020). Limpeza é a remoção física das sujeiras presentes na superfície de objetos e não neutraliza os patógenos presentes, exemplo passar pano na mesa para retirar migalhas de pão. Desinfecção é um ataque químico e/ou físico para neutralizar patógenos de um ambiente ou superfície e visa neutralizá-los, exemplo borrifar álcool numa lata de refrigerante. Já sanitização é a ação conjunta da limpeza com a descontaminação, e visa não só reduzir a quantidade de patógenos presentes, como neutralizá-los o máximo possível, exemplo esfregar um pano embebido em álcool para limpar uma embalagem. (CDC, 2020)

2.1.1 Água e Sabão

Consenso entre todos os órgãos citados, a esfregação com água e sabão por pelo menos 20 segundos é suficiente para quebrar a barreira de gordura do coronavírus e o inativar. Por ser a alternativa menos agressiva aos seres vivos, mais barata e de fácil acesso é o método mais recomendado para reduzir a propagação do vírus. Além de seguro aos seres humanos, esse método de sanitização é o menos agressivo aos materiais das embalagens, objetos e roupas (CDC, 2020).

2.1.2 Mistura de 70% Álcool Etílico 30% Água

Em segundo lugar na preferência pelos órgãos de saúde está a solução de 70% álcool etílico (nome comercial do etanol hidratado). Essa concentração é ideal para permitir que o álcool consiga desativar o vírus antes de evaporar (CDC, 2018).

Esse método traz algumas vantagens em relação ao sabão, em especial quando o acesso a água corrente não está disponível. A praticidade de poder ser transportado em recipientes pequenos e sua relativa versatilidade na limpeza de diversas superfícies fazem desse método um dos mais práticos. Porém, pode ter efeito danoso para ligas de alumínio, zinco, latão, chumbo, borracha natural, poliuretano, PVC, poliamidas, pinturas e vernizes. (DAVIS, 2017)

2.1.3 Solução de Hipoclorito de sódio 0,5% (água sanitária 0,5%)

Apesar da eficiência comprovada no combate ao coronavírus (MACEDO, 2020) a solução de hipoclorito de sódio apresenta maior risco à saúde humana e meio ambiente e por isso são recomendadas como última alternativa para eliminar o vírus. Além de sua toxicidade ser mais elevada, sua reação com outros produtos de limpeza e compostos presentes no interior das residências pode ser perigoso ou até fatal. (RAI, 2020). Seu potencial de manchar roupas e atacar superfícies de plásticos e metal também são um problema. Sua efetividade em eliminar o vírus também sofre com a degradação da mistura ao longo do tempo.

Todos os métodos acima dependem de umedecer as superfícies para limpeza, porém nem sempre isso é viável. Embalagens de alimentos feitas de papel e papelão não conseguem ser limpas dessa forma, dinheiro em espécie é outro item que não pode ser desinfetado por nenhum desses métodos (CHIN, 2020). Além do mais, foi observado que as máscaras precisam

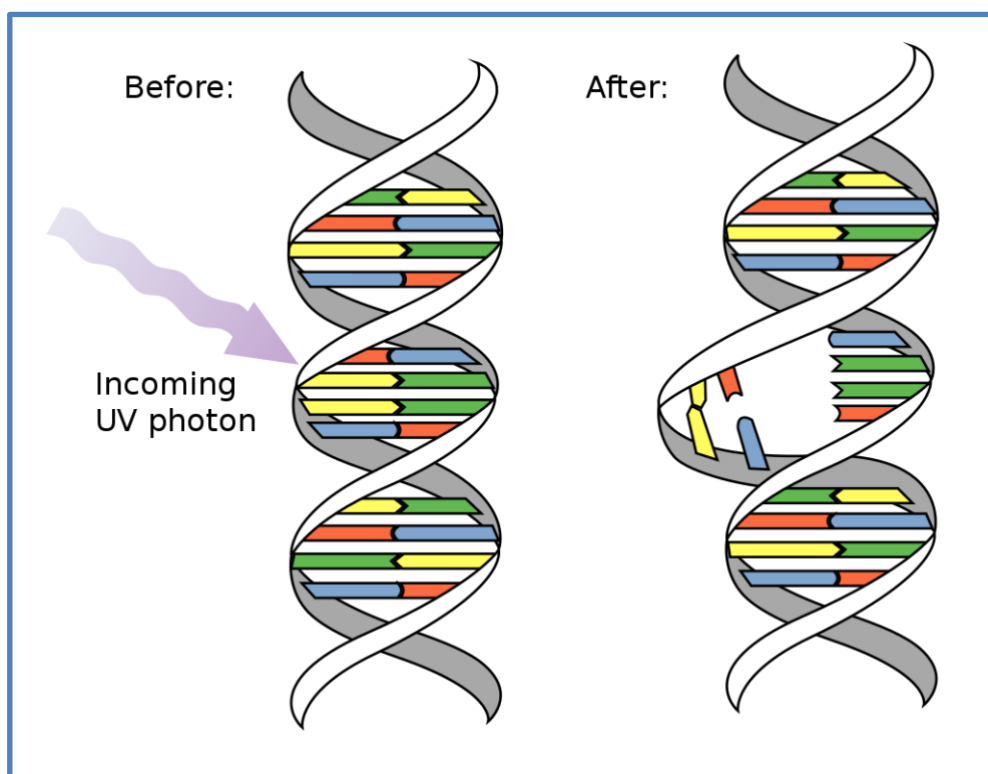
ser desinfectadas com grande frequência. Assim um método a seco seria o ideal. Dessa forma a alternativa a ser proposta para suprir as dores da Persona é a pelo método de descontaminação por luz UVC.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse item será analisado os embasamentos científicos para corroborar a eficiência da luz ultravioleta como um método efetivo para desinfetar a superfícies de objetos de forma segura.

A luz UVC, com pico de comprimento de onda a 254 nanômetros, é faixa de ondas UV que tem maior energia, permissividade e potencial esterilizador. Diferente dos raios UVA e UVB menos energéticos, o UVC é completamente absorvido na estratosfera pela camada de ozônio, o que é fundamental para a possibilidade e manutenção de vida na Terra. Essa radiação é capaz de penetrar a camada interna de células e vírus, causando a desnaturação do material genético, seja ele ADN ou ARN, que acaba por inviabilizar seu processo reprodutivo ou desencadear um processo cancerígeno (BERNSTEIN et al., 2002)

Figura 1 – Degradação do DNA por radiação UVC



Fonte: BERNSTEIN et al., 2002

Por ser capaz de degradar compostos orgânicos, não ser suscetível a data de validade e não gerar resíduos sólidos a radiação UVC é utilizada extensivamente em equipamentos de esterilização, tanto em hospitais como na indústria alimentícia. Seu uso rendeu, em 1903, o

prêmio Nobel de medicina ao cientista Niels Filsen. Apesar de ser uma solução potencialmente eficiente, seu uso deve ser feito com extremo cuidado pois, sem as devidas precauções, pode desencadear câncer de pele e levar a cegueira, além de reduzir a vida útil de polímeros naturais e sintéticos. Também é necessário ressaltar que o efeito da luz UV é apenas superficial e sua efetividade é dependente da potência efetiva da fonte emissora, das dimensões do aparato, da distribuição da luminosidade e da distância entre a fonte luminosa e o objeto a ser descontaminado (HEILINGLOH, 2020).

Figura 2 – Degradação de corda de polipropileno



Fonte: LEWIS, 2002

As lâmpadas de UVC também devem ter extenso controle de qualidade, pois a radiação UV abaixo dos 240 nanômetros é capaz de gerar ozônio, o que aumenta seu potencial esterilizador, mas promove outro desafio na segurança do usuário (ASHRAE, 2020).

As lâmpadas de UVC tradicionais utilizam a tecnologia de vapor de mercúrio. Esse tipo de lâmpada tem sua eficiência extremamente afetada pelo tempo de uso, variação de temperatura ambiente e fluxo de ar (GRAUPNER, 2017). A transição para o uso de LEDs a base de nitreto de gálio alumínio ainda não ocorreu uma vez que seu alto custo não foi aceito pelo mercado consumidor e maiores desenvolvimentos em sua manufatura são necessários (SHATALOV et al., 2017).

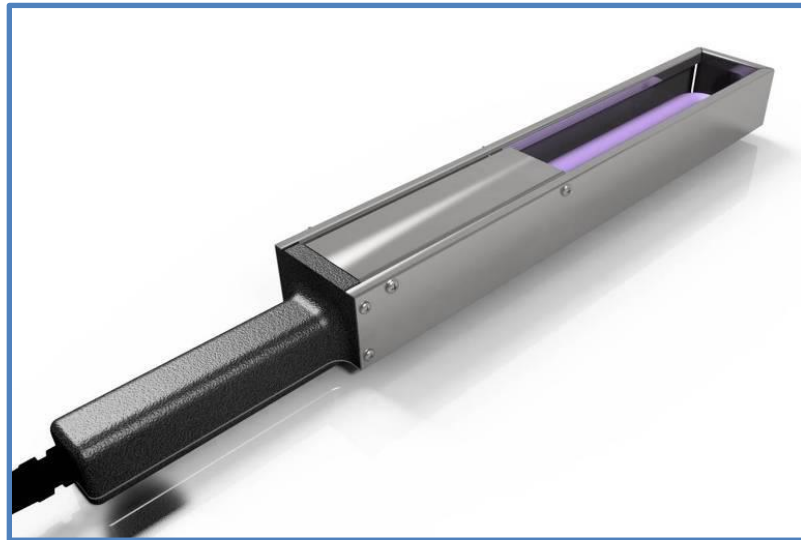
4 ANÁLISE DAS SOLUÇÕES DISPONÍVEIS

Devido ao escopo desse trabalho, será explorado exclusivamente aparatos direcionados a suprir as necessidades da Persona delimitada. É importante ressaltar que mesmo a luz UVC sendo comprovadamente efetiva no combate a diversos patógenos e amplamente utilizada em diversos dispositivos médicos para esterilização, a ANVISA não avaliza esse tipo de equipamento nem sua efetividade contra o coronavírus. O órgão ressalta que esse método de desinfecção não deve ser tratado como método único e sim como auxiliar no combate, além de apresentar na nota técnica 82/2020 diversas ressalvas sobre esses equipamentos, que serão discutidos nos itens abaixo.

4.1 Dispositivos portáteis

Dos diversos dispositivos portáteis pesquisados no mercado, apenas o UV Surface da empresa Biolambda© indica a lâmpada utilizada, modelo OSRAM HNS L 18W 2G11, o que transmite maior credibilidade a seu produto. Porém em seu website a empresa afirma que “a luz ultravioleta não deixa resíduos e nem degrada materiais e, portanto, também pode ser utilizada para desinfetar papéis, tecidos, eletrônicos e até alimentos” informação incorreta, já que a ação antiviral provém exatamente da capacidade de degradação de material orgânico. A empresa também ressalta que ocorre “inativação após 2 segundos de exposição em superfície de aço inox”, mas não deixa claro que a distância em que foi feito os ensaios é de 1 cm entre o aparelho e a superfície. Apenas na análise técnica, que está disposta no site com pouco destaque, é que estão as condições de uso. Essa informação é tão relevante ao usuário para o correto uso do equipamento, como pela própria empresa que precisa transmitir segurança a seus compradores. Uma das ressalvas apontadas pela Anvisa é a falsa segurança que esses dispositivos podem promover e a falta de clareza por parte da Biolambda© em divulgar o seu produto reforça a posição do órgão regulamentador.

Figura 3 - UV Surface da empresa Biolambda©



Fonte: FOLHA DE SÃO PAULO, 2020

No item “Segurança” da descrição do produto, está apenas a informação de que o aparelho “acompanha luvas e óculos de proteção” (BIOLAMBDA©, 2020). Este produto tem preço de tabela de R\$999,88.

Já o modelo BioseptHome da empresa Bioaset© não apresenta em seu website nenhuma informação acerca da efetividade de seu produto, lâmpada utilizada ou informações de segurança, (BIOSET©, 2020). Este produto tem preço de tabela de R\$800,00

Figura 4 - UV BioseptHome da empresa Bioaset™



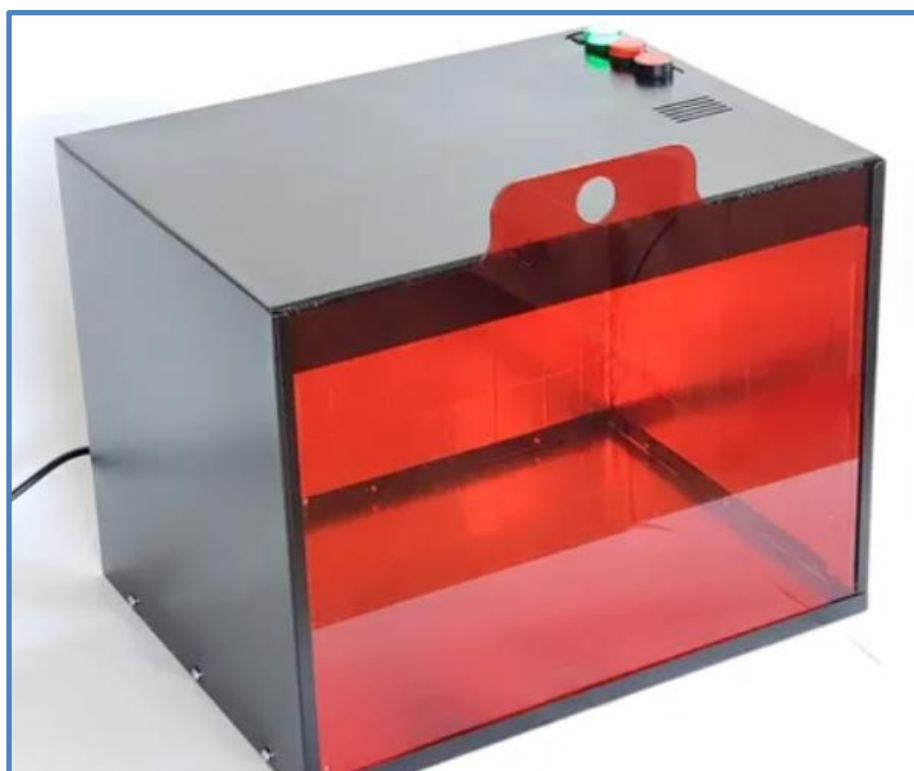
Fonte: BIOSET©, 2020

4.1 Dispositivos fixos

A pesquisa por dispositivos fixos para desinfecção, ainda mais do que nos dispositivos portáteis, resultou em diversas soluções caseiras, que além de não apresentarem nenhum ensaio comprovando sua eficiência, também não têm a certificação necessária da ANVISA. Exemplo disso é o produto chamando de “CleanerBox” encontrado a venda no site de compras Mercado Livre.

Mesmo descrito que a lâmpada utilizada é OSRAM Puritec 24W, o fabricante afirma que o ciclo de desinfecção é “57 segundos, cerca de 2,5x a mais que o necessário”, o que é extremamente difícil de afirmar, dado enorme variação de distância entre o objeto e a fonte luminosa. Além disso, por ter apenas uma lâmpada a superfície inferior dos objetos não será desinfetada. Dada a qualidade duvidosa do produto, também é questionável o tratamento da superfície translúcida em bloquear os raios UV. Este produto tem preço de tabela de R\$1.535,12.

Figura 5 – CleanerBox



Fonte: MERCADO LIVRE, 2020

A Biolambda©, mesma fabricante do dispositivo portátil, oferece um produto para desinfecção de máscaras. Por ser específica, ter seu uso restrito a 4 unidades por vez e um ciclo

de desinfecção bem determinado a redução de possíveis erros causados pelos usuários é significativa e os valores apresentados em seus ensaios são mais representativos da realidade de uso. Sua câmara completamente selada e o desligamento automático com a abertura da porta são recursos de segurança importantes que excluem a necessidade de EPI, que muitas vezes são ignorados pelos usuários. Este produto tem preço de tabela de R\$3.982,62.

Figura 6 – Higienizador de Máscara da Biolambda©



Fonte: MERCADO LIVRE, 2020

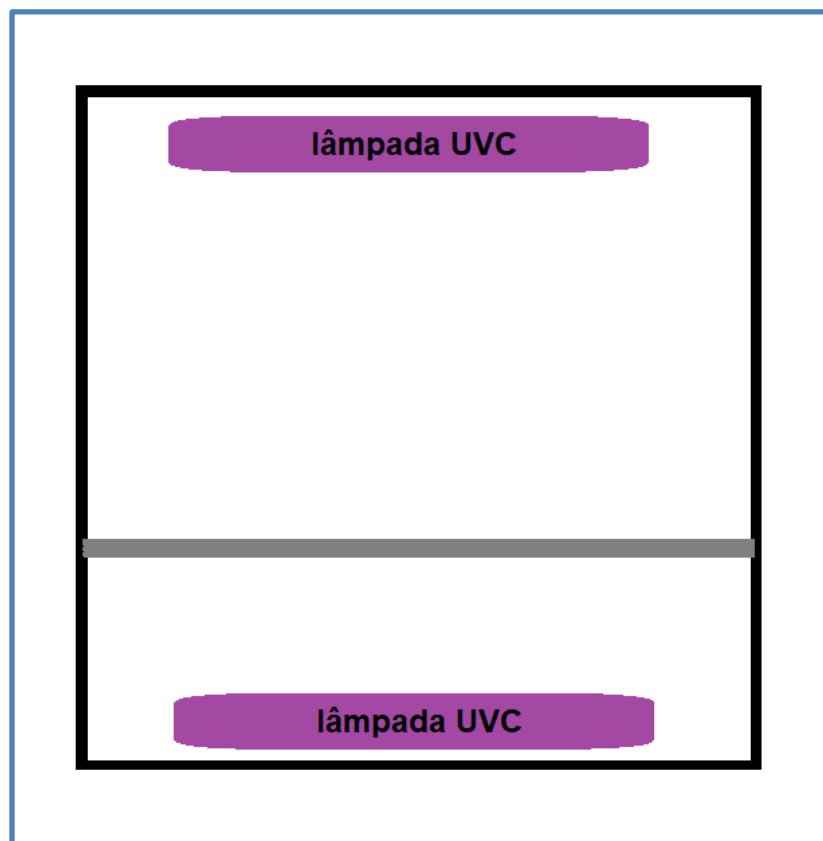
5 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Delimitado o escopo do projeto, as necessidades da Persona e analisados os produtos disponíveis no mercado, fica clara a necessidade um projeto mais robusto no quesito eficiência de descontaminação, especialmente considerando uma maior variação de itens a serem descontaminados e possíveis erros de uso. Fácil usabilidade é um requisito importante ressaltado pelos usuários, mas ela não pode se sobrepor ao quesito segurança.

O projeto proposto é semelhante ao CleanerBox, porém com algumas alterações:

1. O protótipo terá duas fontes de UVC uma vez que há necessidade de iluminar completamente os objetos em seu interior, sem a ter que inverter os itens.
2. Para possibilitar essa iluminação, um suporte será adicionado ao interior. A altura do suporte deverá ser estrategicamente considerada para possibilitar iluminação adequada a todos os objetos. O interior da caixa aberta deverá ser semelhante ao da figura 7.

Figura 7 – Representação do Interior Câmara de Descontaminação



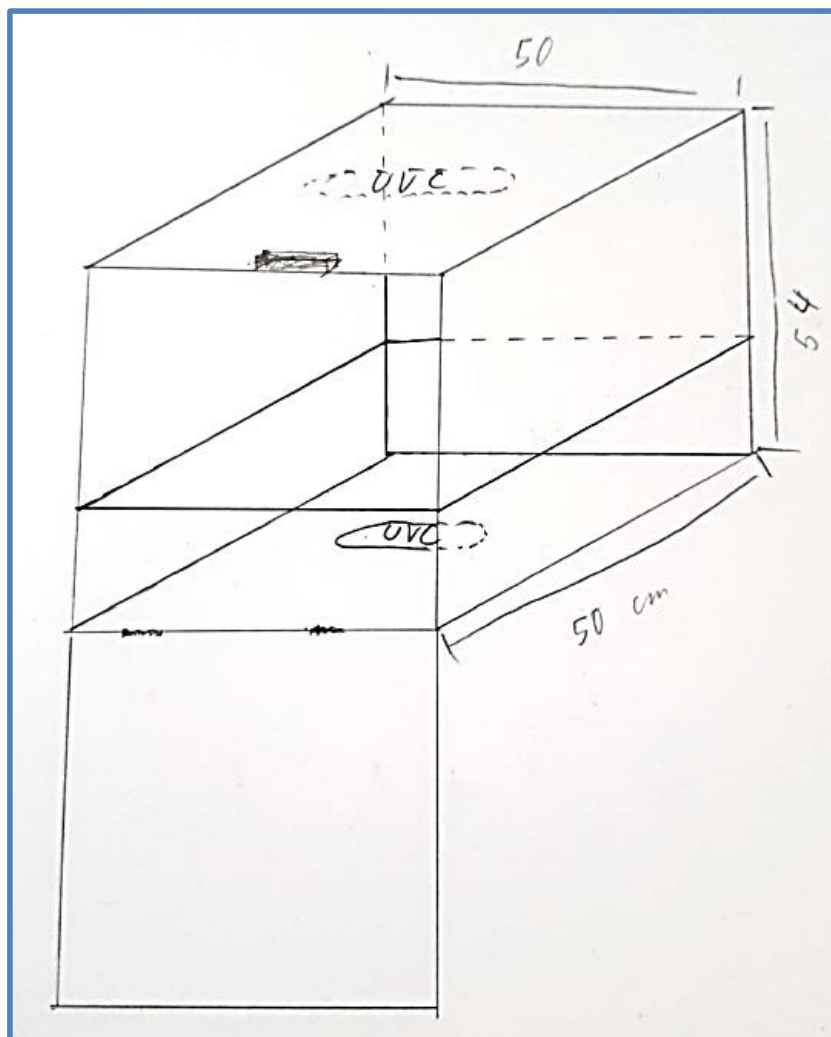
Fonte: SORDI, 2020

3. A estimativa do tempo de ciclo será realizada considerando como base a dose necessária de 10,6 mJ/cm² para inativação de 99,00% do SARS-CoV-2 (VATTER et al, 2020) e o guia “How Much Time is Required for Surface Disinfection in Your Application?” do Dr. Kevin Kanh para calcular a irradiância gerada pela lâmpada. Com os valores de dose e irradiância é possível dar uma estimativa do tempo necessário.
4. Uma vez que a maior quantidade de itens higienizados no mesmo ciclo é desejável e considerando as limitações de espaço na residência dos usuários que testarão esse dispositivo, as dimensões internas serão de 50cm x 50cm x 50cm.

6 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

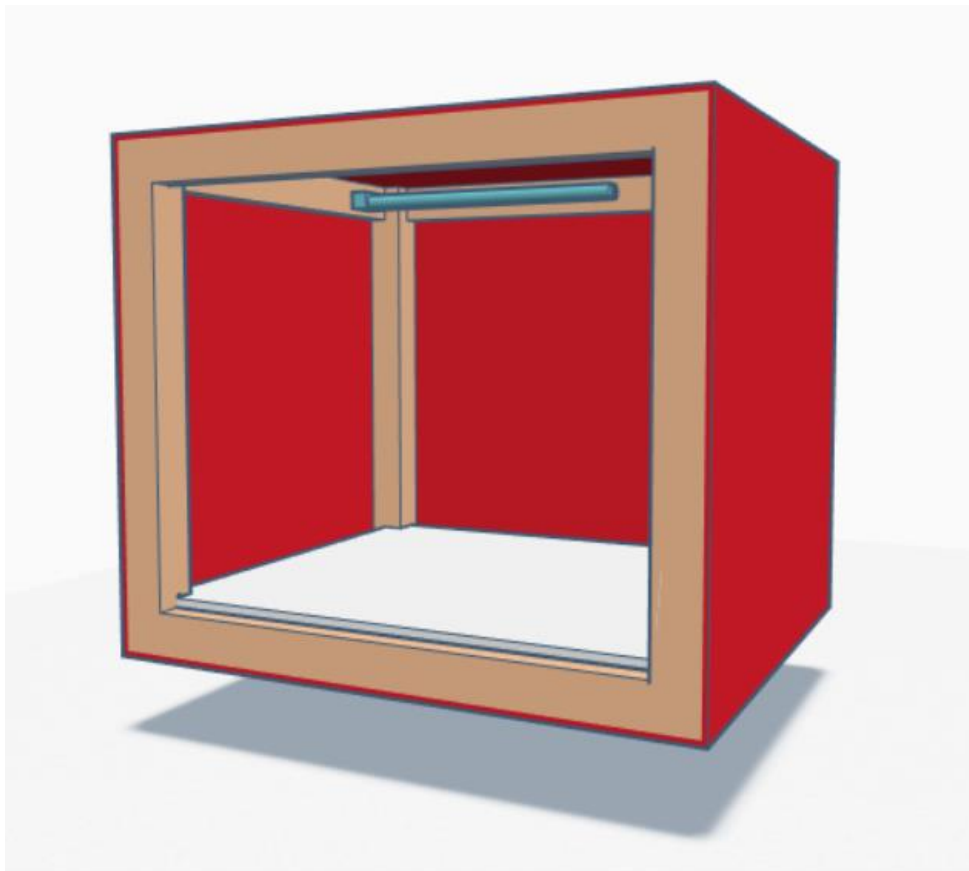
Dada a simplicidade da geometria do projeto, apenas um croqui manual foi realizado para facilitar a visualização das dimensões e listagem dos materiais necessários, assumido que um desenho mais sofisticado nessa etapa do projeto seria pouco proveitoso e aumentaria o gasto total de tempo no desenvolvimento.

Figura 8 – Croqui do Protótipo



Fonte: SORDI, 2020

Figura 9 – Mockup de protótipo semelhante

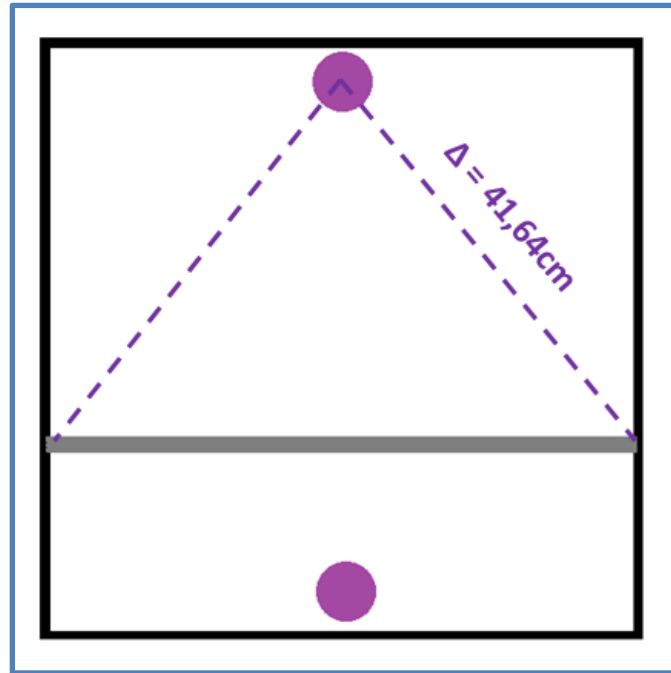


Fonte: WALKER, 2020

Delimitada a estrutura foi necessário selecionar o modelo de lâmpada a ser utilizado. Considerando as dimensões, custo, tempo de ciclo, potência necessária e disponibilidade no mercado o modelo adquirido foi o Puritec OSRAM HNS 15W G13, com potência real de UVC de 4W.

Considerando a altura máxima de objetos a serem desinfetados a placa de suporte foi posicionada a $\frac{1}{3}$ da altura, ou seja 16,67cm em relação ao suporte. Dessa forma, a maior distância entre a lâmpada e o suporte é de aproximadamente 33,33cm. Porém, dadas as dimensões da lâmpada e seu posicionamento no interior da caixa, haverá um ponto em que a esse valor será de 41,6cm, como mostrado na figura 10. Para um projeto mais robusto, simulações em software que utilizam métodos de elementos finitos seria recomendado para criar um projeto luminotécnico preciso e avaliar o impacto e distribuição dos raios UVC (KANH, 2020). Este procedimento foi descartado uma vez que a usabilidade da caixa ainda não foi validada. Para compensar essa escolha de projeto, será compensada com um maior coeficiente de segurança.

Figura 10 – Diagrama da distância máxima de iluminação



Fonte: SORDI, 2020

Por simplificação de modelo a iluminância da lâmpada será considerada para uma área esférica com raio igual a distância máxima delimitada de 41,6cm. Dessa forma a área estimada de iluminação segue o cálculo da área de uma esfera, que é igual a fórmula 1:

$$\text{Área da esfera [cm}^2\text{]} = 4 * \pi * \text{raio}^2 \text{ [1]}$$

Dessa forma a área total de dispersão é de $21.746,86\text{cm}^2$. A irradiância segue a fórmula 2:

$$\text{Irradiância } \left[\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} \right] = \text{Potência luminosa (W)} / \text{Área da esfera [cm}^2\text{]} \text{ [2]}$$

Portanto, substituindo os valores, a irradiância é igual a $0,184 \text{ mW/cm}^2$. Como a dose de UVC estimada para desinfecção do coronavírus é de $10,6 \text{ mJ/cm}^2$ para inativação de 99,00% do SARS-CoV-2 (VATTER et al, 2020) é possível utilizar a fórmula 2 para estimar o tempo.

$$\text{Dose de radiação } \left[\frac{\text{mJ}}{\text{cm}^2} \right] = \text{Irradiância } \left[\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} \right] * \text{tempo [s]} \text{ [3]}$$

Feito o cálculo, o tempo estimado para o ciclo de desinfecção é de 57,06 segundos. Considerado o risco envolvido para esse tipo de aplicação e as simplificações do projeto, será assumido um coeficiente de segurança igual a 5. Assim o tempo para cada ciclo será de 4 minutos e meio.

O revestimento do interior da caixa foi feito com papel alumínio uma vez que esse material tem excelente índice de reflexão para esse tipo de radiação e auxiliará na melhor dispersão dos raios UVC no interior da caixa (COBLENTZ, STAIR, 1919).

O suporte para os itens foi construído a partir de arame de aço recozido. O ideal para incidência completa desta radiação nos itens seria uma superfície transparente a essa radiação. O material capaz de propagar essas ondas é o mesmo utilizado na carcaça da fonte emissora, vidro de quartzo de alta pureza (KANH, 2020), mas seu elevado preço e relativo baixo ganho de performance em relação a área coberta pelo arame não parece justificar o acréscimo em custo.

A compra de todo o sistema de iluminação foi realizada na loja ‘‘Comercial Elétrica Lamplight Eireli’’ (CNPJ, 23.871.573/0001-96) no dia 20/06/2020 e estão grifados em azul na tabela 2. Já a parte estrutural foi comprada na ‘‘Leroy Merlin Companhia Brasileira de Bricolagem’’ (CNPJ, 01.438.784/0047-80) no dia 15/07/2020 e não tem destaque de cor na tabela 2.

Tabela 2 – Descrição de Materiais

Item	Quantidade	Custo Unitário	Custo
Abraçadeira	4 unidades	R\$2	R\$8,00
Arame	± 8,5 metros	R\$15,69 por 39 metros	R\$3,41
Chapas de MDF	1,3 metros quadrados	R\$74,90	R\$97,37
Cola Branca	80 gramas	R\$12,29 por 500 gramas	R\$1,97
Dobradiça Simples	2 unidades	R\$4,18	R\$10,99
Fecho	1 unidade	R\$11,99	R\$11,99

Item	Quantidade	Custo Unitário	Custo
Fios	5 metros	R\$7,15 por metro	R\$35,75
Interruptor	1 unidade	R\$13,99	R\$13,99
Lâmpada Puritec OSRAM HNS 15W G13	2 unidades	R\$80	R\$160
Papel Alumínio	± 6 metros	R\$3,35 por 7.5 metros	R\$2,87
Plug Macho	1 unidade	R\$6,79	R\$6,79
Reator UV 15W Bivolt	2 unidades	R\$45	R\$90
Soquete das lâmpadas	4 unidades	R\$2	R\$8
Total			R\$451,13

Fonte: SORDI, 2020

Por uma questão de organização, a montagem do protótipo está descrita no ANEXO A

7 OBSERVAÇÕES DE USO

A caixa, depois de montada no dia 18/07/2020, foi posicionada no local onde anteriormente foi destinado como área de descontaminação pelos usuários, conforme a figura 11.

Figura 11 – Local da caixa de desinfecção

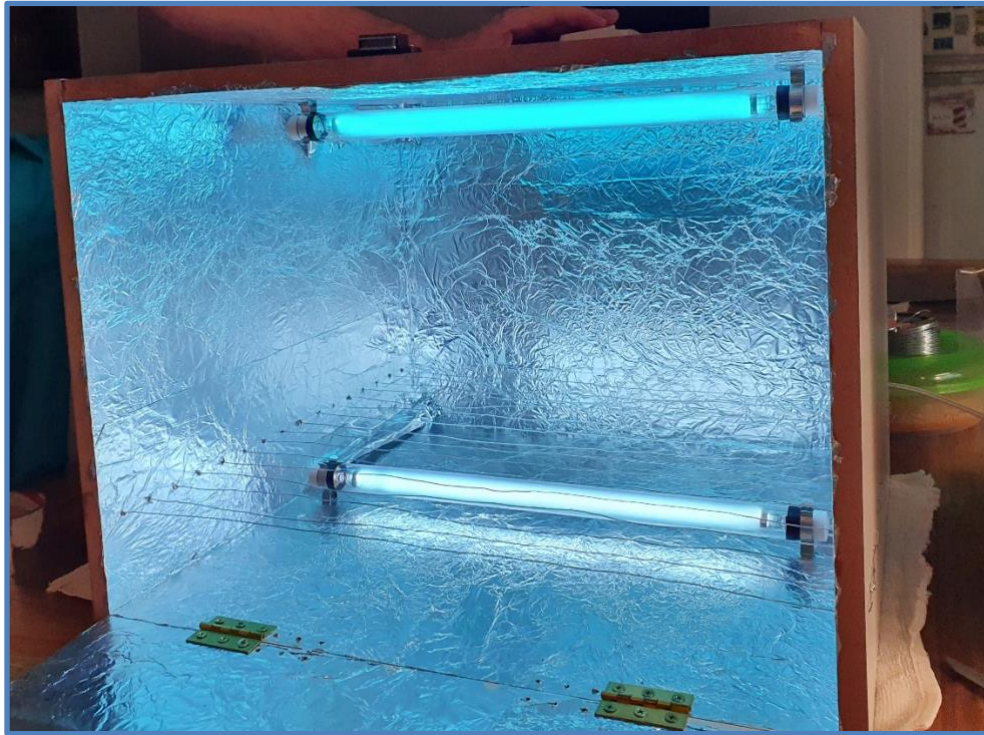


Fonte: SORDI, 2020

Por se tratar de área externa foi provisionada uma lona impermeável para proteger o equipamento das intempéries.

Antes de ser liberado o seu uso todos os usuários foram extensivamente alertados dos perigos que a luz UVC pode causar e que em hipótese alguma a caixa deveria ser aberta com a lâmpada ligada. Com a observação da utilização pelos usuários esse descuido foi cometido algumas vezes, deixando claro que um sistema de desligamento automático deveria ser instalado.

Figura 12 – Caixa de desinfecção



Fonte: SORDI, 2020

Um timer também foi observado como necessário, pois mais de uma vez um item a ser descontaminado foi esquecido no interior da caixa ligada. O pior caso foi quando um par de máscaras foi esquecido durante a noite (mais de 8 horas). O padrão evidenciou a limitação de penetração pela luz UV, uma vez que as partes cobertas das máscaras mantiveram sua cor, como também deixaram claro aos usuários o poder degradativo que essa radiação oferece.

Figura 13 – Máscara degradada



Fonte: SORDI, 2020

Foi apontado pelos usuários que a máquina “fica um cheiro estranho”, especialmente quando o tempo de uso contínuo ultrapassa os 10 minutos. Inicialmente suspeitou-se de que a cola branca usada poderia estar esquentando atrás do papel alumínio e liberando algum solvente. Porém, como ela é a base de água, não poderia ser esse a causadora. Por questões de segurança foi assumido que estava ocorrendo a formação de ozônio. Dessa forma os usuários foram alertados sobre esse risco e novo protocolo de uso foi instalado. A caixa foi melhor vedada e foi instruído aos usuários que a caixa deveria ter um tempo de extra de 2 minutos para ser aberta e garantir que não haveria mais risco de intoxicação por ozônio, mesmo o equipamento estando num local bem ventilado.

Essa mudança de protocolo aumentou muito o tempo de espera e itens como delivery de comida voltaram a ser descontaminados apenas pelos métodos tradicionais.

Ao longo do tempo de uso e com a flexibilização das regras de isolamento social imposta pelo governo estadual, o uso da caixa foi gradualmente diminuindo, sendo a sua principal utilidade atualmente (25/10/2020) a descontaminação de cédulas de dinheiros, cartas e revistas.

Figura 14 – Itens depois de um ciclo



Fonte: SORDI, 2020

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tecnologia geradora de UVC possibilita a desinfecção e até esterilização de diversos materiais e objetos, e mesmo um dispositivo caseiro, quando levado todos os fatores, pode atender essa demanda e auxiliar na redução da propagação do coronavírus. Porém, considerando os aspectos legais e de homologação impostos pela ANVISA, nenhum desses dispositivos poderia ser disponibilizado ao mercado consumidor, ainda mais sem explicações detalhadas acerca de suas limitações e riscos.

Seu alto custo que apenas em materiais foi de R\$451,13 realmente limita o acesso a esse tipo de dispositivo. Modelos mais sofisticados e bem acabados como o da Biolambda©, tem preço tabelado em R\$3.982,62.

9 CONCLUSÃO

Com as devidas melhorias de projeto para torná-lo mais robusto, seguro e confiável acredito que a próxima etapa lógica de desenvolvimento é trabalhar conjuntamente com a ANVISA para desenvolver um protocolo de homologação condizente. Enquanto isso não ocorrer, planejar e dedicar recursos para produzir esse tipo de dispositivo parece-me altamente improdutivo.

REFERÊNCIAS

ANVISA. **Nota técnica 82/2020**. Processo nº 25351.923277/2020-13. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/arquivos-noticias-anvisa/114json-file-1>. Acessado em 21 de outubro de 20

ASHRAE, BORD OF DIRECTORS. **ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning**. Aprovado em 29 de Janeiro de 2015. Vencimento em 23 de Janeiro de 2021. Disponível em: <https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/filtration-and-air-cleaning-pd.pdf>. Acesso em: 21 de outubro de 2020.

BERNSTEIN, CAROL et al. **DNA repair/pro-apototic dual-role proteins in five major DNA repair pathways: fail-saf protection against carcinogenesis**. Mutation Research, v. 511, t. 2, p. 145-178, 2002. Disponível em:

BIOLAMBDA©. **Catálogo**. Disponível em <https://biolambda.com/uv-surface/>. Acesso em 23 de outubro de 2020.

BIOSET©. **Catálogo**. Disponível em <https://www.bioset.com.br/site/produtos/35>. Acesso em 23 de outubro de 2020.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, CDC. **Chemical Desinfection Guidelines** Coronavirus Disease portal. USA, 2008. Disponível em: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/disinfection-methods/chemical.html> Acesso em 14 de outubro de 20.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, CDC. **Coronavirus Disease portal**. USA, 2020. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/your-health/index.html>. Acesso em 14 de outubro de 20.

CHIN, ALEX W. H et al. **Stability of SARS-COV-2 in different environmental conditions**. Microbe, publicada pela The Lancet, v. 1, t. 1, 2020. Disponível em [https://www.thelancet.com/journals/lanmic/article/PIIS2666-5247\(20\)30003-3/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanmic/article/PIIS2666-5247(20)30003-3/fulltext). Acesso em 20 de outubro de 20.

COBLENTZ, W. W., STAIR, R. **Ultra-Violet Reflecting Power of Aluminum and Several other metals**. 1919 Disponível em:

https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/4/jresv4n2p189_A2b.pdf. Acesso em: 25 de outubro de 20.

DAVIES, ANNA et al. **Testing the Efficacy of Homemade Masks: Would They Protect in an Influenza Pandemic?** Journal of Disaster Medicine and Public Health Preparedness, publicada pela **Cambridge University Press**, v. 7, t. 4 p. 413-418, 2013. Disponível em <https://www.cambridge.org/core/journals/disaster-medicine-and-public-health-preparedness/article/testing-the-efficacy-of-homemade-masks-would-they-protect-in-an-influenza-pandemic/0921A05A69A9419C862FA2F35F819D55#>. Acesso em 20 de outubro de 20.

DAVIS, GREGORY W. **Addressing Concerns Related to the Use of Ethanol-Blended Fuels in Marine Vehicles.** Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, publicada pelo departamento de **Engenharia Mecânica da Kettering University**, v. 5, t. 4, p. 546-559, 2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/207269257.pdf>. Acesso em: 17 de outubro de 20. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383574202000091?via%3Dihub>. Acesso em 20 de outubro de 20.

ENGELMAN, D. M. **Membranes are more mosaic than fluid Nature**, n. 438, p. 578-580, 2005. DOI: Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature04394>. Acesso em: 11 outubro 2020.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Luz ultravioleta pode eliminar coronavírus, mas uso é limitado e exige cuidados.** Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/equilibrioesaude/2020/06/luz-ultravioleta-pode-eliminar-coronavirus-mas-uso-e-limitado-e-exige-cuidados.shtml>. Acessado em 21 de outubro de 20 GRAUPNER, MARTIN. **ResearchGate Q&A section.** 22 de março de 2017. Disponível em :https://www.researchgate.net/post/The_basic_way_to_calculate_UV_dose_from_a_UVC_15_Watt_bulb. Acesso em 26 de outubro de 20.

HEILINGLOH, CHRISTIANE S. **Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation.** American Journal of Infection Control v. 48, t. 10, p1273-1275, 2020. Disponível em: [https://www.ajicjournal.org/article/S0196-6553\(20\)30756-2/fulltext](https://www.ajicjournal.org/article/S0196-6553(20)30756-2/fulltext) Acesso em: 17 de outubro de 20.

JOÃO DÓRIA. **Diário Oficial do Estado de São Paulo:** Decreto N64.879 de 20 de março de 2020. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/wp-content/uploads/2020/03/decretos-64879-e-64880.pdf>. Acesso em: 18 de outubro de 20.

KAHN, KEVIN. **How Much Time is Required for Surface Disinfection in Your Application?** Publicado por Klaran Univertisy. Disponível em <https://www.klaran.com/time-required-surface-disinfection>. Acesso em 23 de outubro de 20.

MACEDO, JORGE. **Solução caseira para eliminar o coronavírus da sua casa.** Conselho Federal de Química de Minas Gerais. 2020. Disponível em: http://cfq.org.br/wp-content/uploads/2020/03/Review_a%CC%81gua_sanita%CC%81ria-versa%CC%83o-23_03_-2020-versa%CC%83o_3.pdf. Acesso em 20 de outubro de 20.

MERCADO LIVRE. **CleanBox.** Disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1625147163-caixa-desinfecco-ultravioleta-germicida-uv-cleaner-box-_JM?matt_tool=77131280&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=6542513413&matt_ad_group_id=77431079254&matt_match_type=&matt_network=u&matt_device=c&matt_creative=385103364676&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=&matt_merchant_id=266373623&matt_product_id=MLB1625147163&matt_product_partition_id=306873149960&matt_target_id=pla-306873149960&gclid=Cj0KCQjwuL_8BRCXARIsAGiC51BUStlSw4N1Sau08aYRCu5WoOzUX0ZxIEBZVtcJ-FJQSsVlFaG7s7EaAoXuEALw_wcB. Acessado em 21 de outubro de 20

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Como se proteger.** Disponível em: <https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#como-se-proteger>. Acesso em 20 de outubro de 2020.

NORTON, R. L.; **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**; - 4ª edição - Porto Alegre: Bookman, 2013.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Advice for the public.** Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>. Acesso em 20 de outubro de 2020.

PEÇANHA, VITOR. **Descubra o que é buyer persona e quais os 5 passos essenciais para criar a sua.** Publicado em 4 de junho de 20. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/personas/>. Acesso em 23 de outubro de 20.

RAI, NAGENDRA KUMAR; ASHOK, ANUSHRUTI; AKONDI, BUTCHI RAJU.

DAVIES, ANNA. **Consequences of chemical impact of disinfectants: safe preventive measures against COVID-19.** Critical Reviews in Toxicology Journal, publicada pela Tandford Online, v. 50, t. 6 p. 513-50, 2020. Disponível em <https://www.cambridge.org/core/journals/disaster-medicine-and-public-health-preparedness/article/testing-the-efficacy-of-homemade-masks-would-they-protect-in-an-influenza-pandemic/0921A05A69A9419C862FA2F35F819D55#>. Acesso em 20 de outubro de 20.

SHATALOV, M. et al. **Chapter Two - Development of Deep UV LEDs and Current Problems in Material and Device Technology**. Semiconductors and Semimetals v. 96, p45-83, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0080878416300254?via%3Dihub>. Acesso em: 25 de outubro de 20.

VATTER, PETRA et al. **Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation – review and analysis of coronavirus photoinactivation studies**. GMS Hygiene and Infection Control. Disponível em: <https://www.egms.de/static/en/journals/dgkh/2020-15/dgkh000343.shtml>. Acesso em 26 de outubro de 20.

WALKER, FÁBIO. **Caixa Covid**. Criado em 29 de março de 20. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/things/2zqyYFMbXO6>. Acesso em 23 de outubro de 2020.

APÊNDICE A – Montagem do Protótipo

Imagem 15 – Layout dos componentes da caixa UV

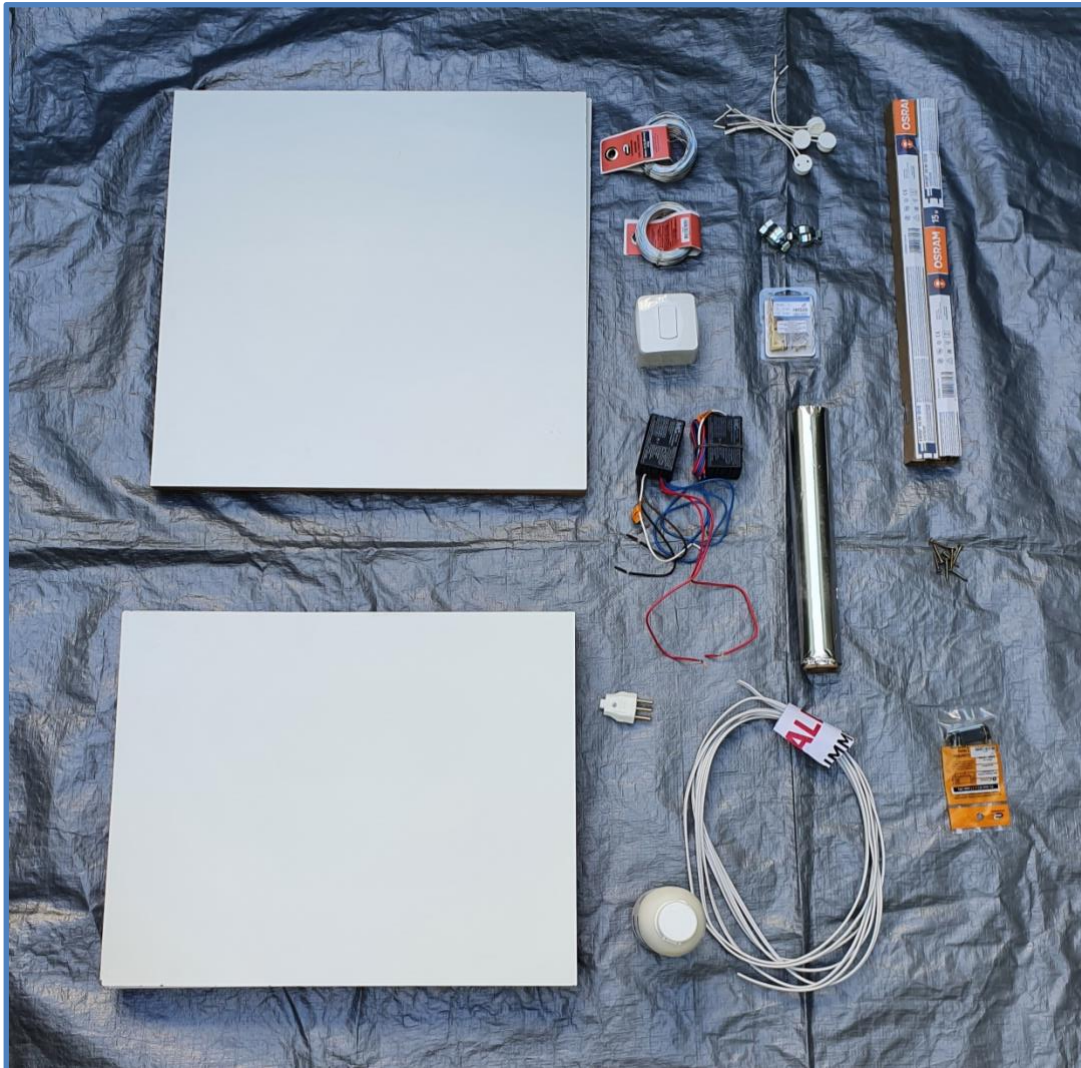


Imagem 16 – Recobrimento das paredes internas com papel alumínio

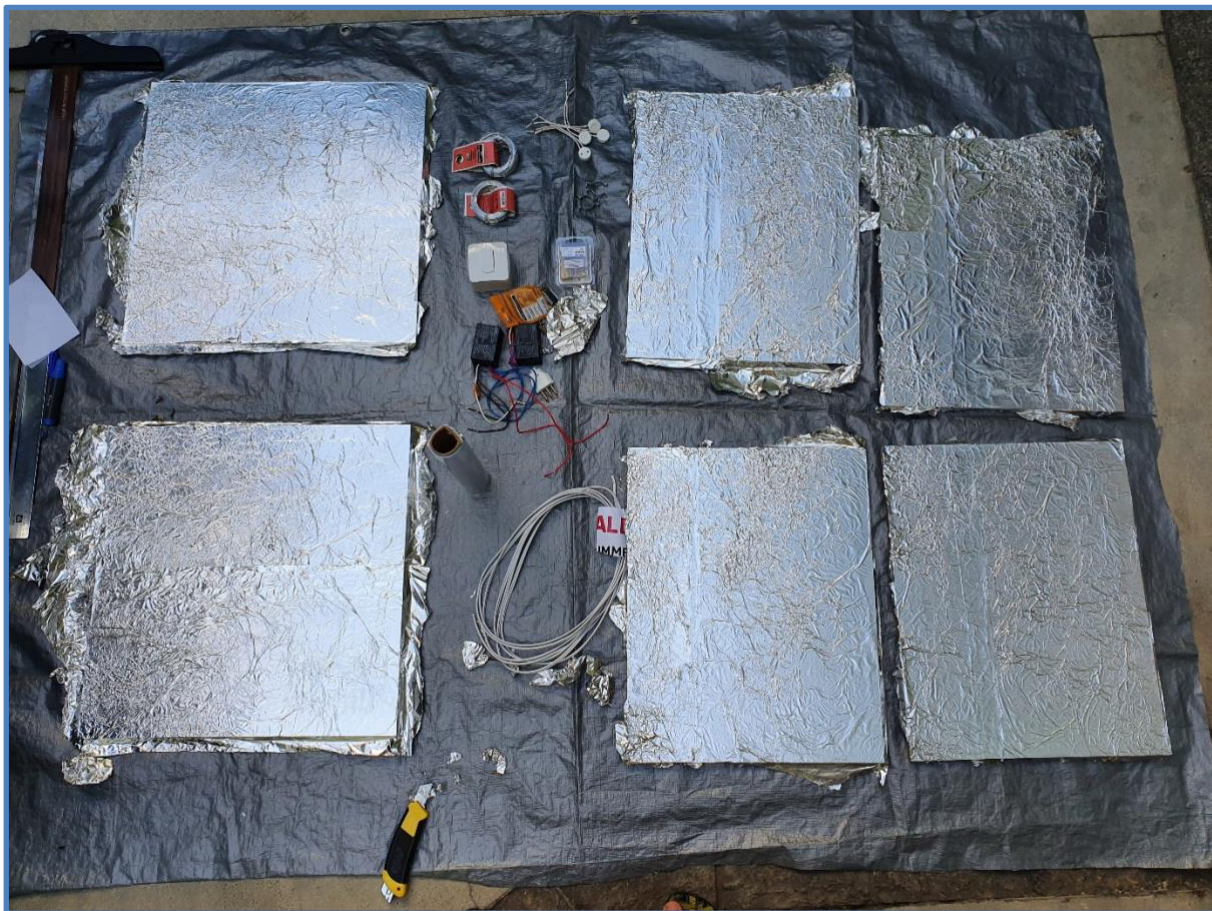


Imagem 17 – Montagem das paredes e fixadores das lâmpadas



Imagem 18 – Furação para instalação do arame



Imagem 19 – Instalação dos fios

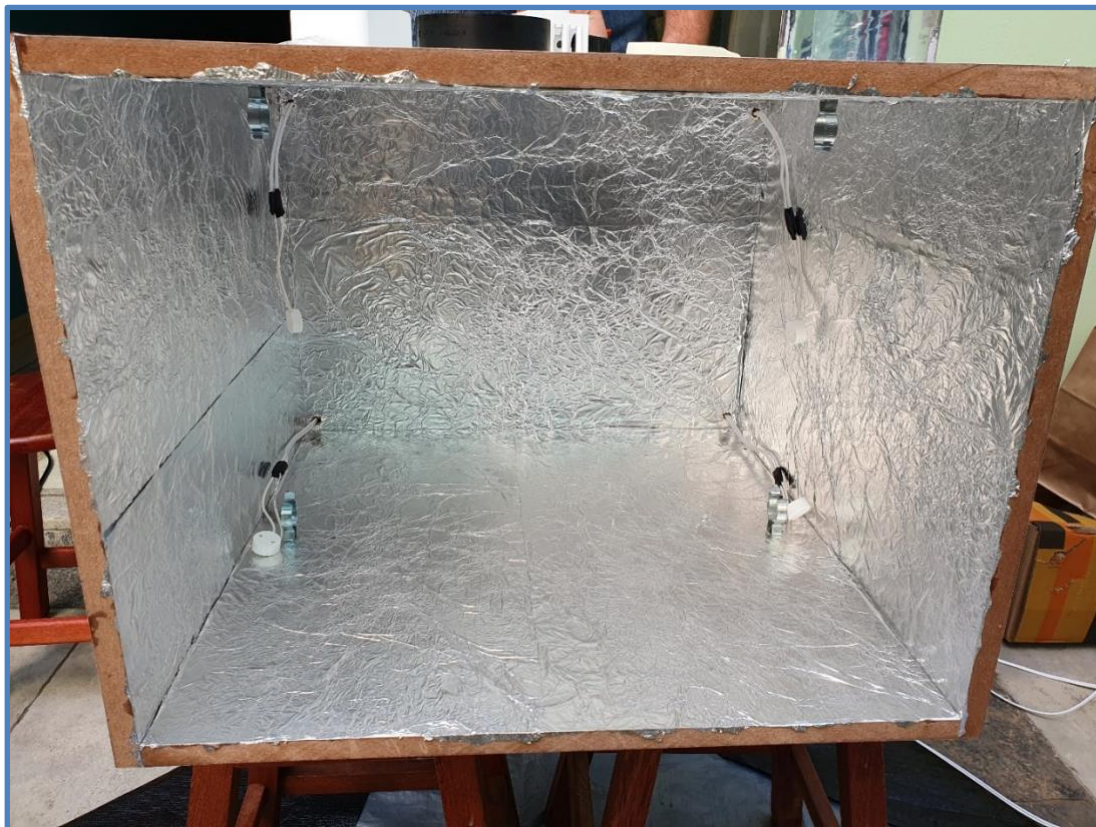


Imagem 20 – Instalação dos reatores

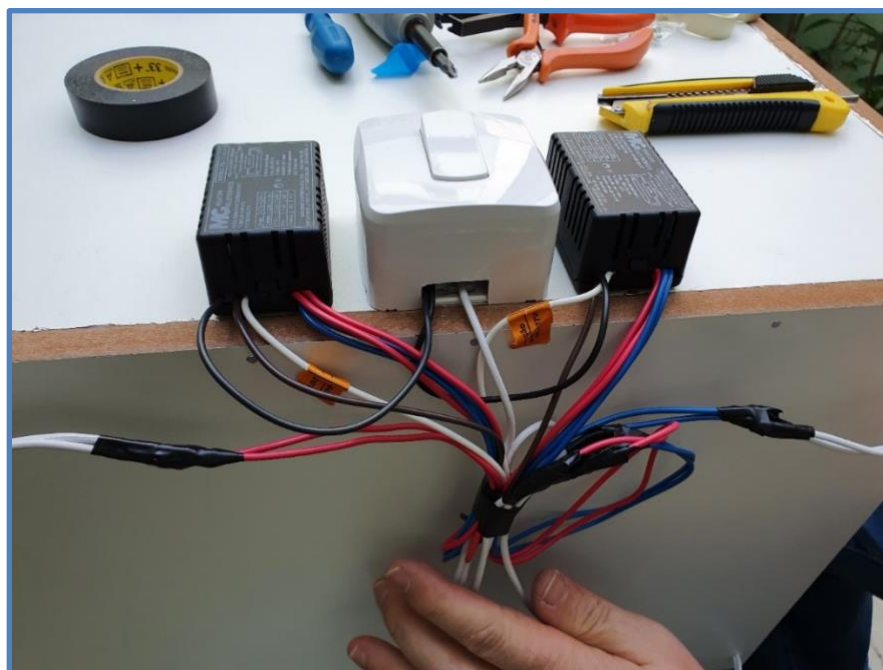


Imagem 21 – Caixa completa

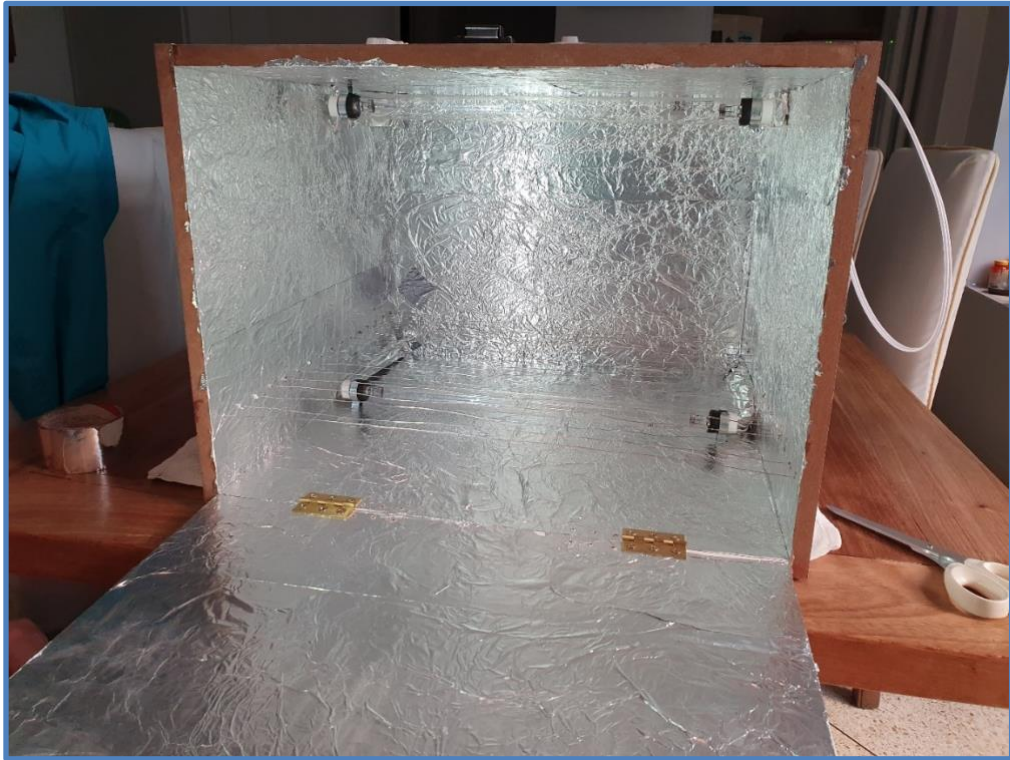


Imagem 22 – Caixa em operação

