

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

GERAÇÃO DE UMA PROPOSTA VIÁVEL PARA VERSÃO PORTÁTIL DO MÉTODO
DE BIODETECÇÃO VIA RESSONÂNCIA DE
PLASMON DE SUPERFÍCIE SOB MODULAÇÃO ELETROQUÍMICA

Gustavo Reus Toniello da Silva

Porto Alegre

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

**GERAÇÃO DE UMA PROPOSTA VIÁVEL PARA VERSÃO PORTÁTIL DO MÉTODO
DE BIODETECÇÃO VIA RESSONÂNCIA DE
PLASMON DE SUPERFÍCIE SOB MODULAÇÃO ELETROQUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TDEF 2)
apresentado à COMGRAD-ENGFIS como
parte dos requisitos para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Física.

Orientador: Prof. Dr. Klester dos Santos Souza

Porto Alegre
2021

Gustavo Reus Toniello da Silva

**GERAÇÃO DE UMA PROPOSTA VIÁVEL PARA VERSÃO PORTÁTIL DO MÉTODO
DE BIODETECÇÃO VIA RESSONÂNCIA DE
PLASMON DE SUPERFÍCIE SOB MODULAÇÃO ELETROQUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TDEF 2)
apresentado à COMGRAD-ENGFIS como
parte dos requisitos para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Física.

Aprovado em:

Professor Dr. Klester dos Santos Souza
Instituto de Química UFRGS

Professor Dr. Marcelo Barbalho Pereira
Instituto de Física UFRGS

Professor Dr. Ricardo Rego Bordalo Correia
Instituto de Física UFRGS

Agradecimentos

Primeiro gostaria de agradecer imensamente aos meus pais, Seu Rinaldo e a Dona Deise sempre fizeram de tudo que foi possível para me dar todas as condições possíveis para me dedicar inteiramente aos meus estudos e me deram todo o suporte emocional e familiar para chegar na oportunidade de escrever este documento. Além de terem me ensinado a ser um ser humano a cada dia.

Agradeço aos meus outros familiares pela preocupação e constante ajuda nos momentos difíceis. Agradeço em especial minha namorada Lorraine, por todo o apoio e dedicação dado no período em que estamos juntos, foi crucial em momentos de baixa.

Agradeço a cada pessoa que participou da minha caminhada ao longo da vida acadêmica completa. Agradeço em especial todos os professores que tive ao longo da minha formação profissional e acadêmica. Uma dessas pessoas com toda certeza preciso destacar é o professor Marcelo Barbalho, que me deu uma oportunidade única de aprendizado já no terceiro mês de graduação, me permitindo aprender muito e me dando outras oportunidades ao longo do curso, como meu estágio onde também foi orientador.

Ao grande professor Klester Souza que me orientou com muita paciência e conhecimento, revelando meu atraso de prazo e corria no último momento.

Resumo

Este trabalho tem a intenção de apresentar uma proposta de projeto para miniaturização de um sistema portátil para detecção da covid-19. A ideia se originou a partir da necessidade de levar dos grandes laboratórios para a linha de frente uma forte arma para detecção e de rápida ação contra a covid-19. A proposta para a criação de um novo produto é baseada em uma variação da técnica de Ressonância plasmônica de superfície. O presente trabalho mostra em detalhes uma proposta viável para a criação de produto que permita uma rápida detecção em ambientes não hospitalares ou laboratoriais.

Palavras-chave: Engenharia Física. Miniaturização. Biossensores. Instrumentação. SPR.

Abstract

This work intends to present a project proposal for miniaturization of a portable system for the detection of covid-19. The idea originated from the need to bring from the laboratories to the front line a strong weapon for detection and rapid action against the covid-19 . The proposal for the creation of a new product is based on a variation of the widely known surface plasmon resonance technique. The present work shows in details a viable proposal for the creation of a product that allows rapid detection in non-hospital or laboratory environment.

Keywords: Physical Engineering. Miniaturization. Biosensors. Instrumentation SPR.

Sumário

1.INTRODUÇÃO	10
2.ESTADO DA ARTE	11
2.1RPS-ME	11
2.2 CIRCUITOS EMBARCADOS	14
3 DESENVOLVIMENTO	15
3.1 PESQUISA	15
3.1.1 Análise do atual sistema	16
3.1.2 Eletrônica	17
3.1.3 Mecânica e estrutura	18
3.1.4 Óptica	19
3.1.5 Equipamentos hospitalares	19
3.2. PROPOSTA FINAL PARA O PRODUTO	20
3.2.1 Modelagem da parte externa	20
3.2.2 Parte interna Superior	23
3.2.3 Biosensor e suporte	26
3.2.4 Parte inferior interna	32
3.3 ELETRÔNICA	33
3.4 TESTES DE QUALIDADE	39
3.5 PROTEÇÃO INTELECTUAL	39
3.6 GESTÃO DO PROJETO	40
3.7 CUSTOS	44
4. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
APÊNDICES	49
APÊNDICE A - LINK ABERTO PARA A MODELAGEM 3D NO FUSION COM AS SIMULAÇÕES:	49
APÊNDICE B - LINK ABERTO PARA O ESQUEMA ELETRÔNICO DO PROJETO COM SIMULAÇÕES:	49

LISTA DE FIGURAS

Figuras 1 - configuração kretschmann retirado de, Resende Câmara, Alexandre, nanopartículas metálicas para sensoriamento químico a fibra óptica puc-rio - Pontifícia universidade católica do rio de janeiro, mestrado em física.

Figuras 2 - Bancada do atual dispositivo de detecção via RPS-ME, Figuras com foco no sistema do biossensor.

Figuras 3- vista frontal da proposta de projeto fechada;

Figuras 4- Figuras lateral esquerda da proposta de produto fechada;

Figuras 5 -Vista inferior externa;

Figuras 6 - Vista frontal angulada da proposta de produto aberta;

Figuras 7- Vista superior do produto aberto;

Figuras 8- Vista frontal da proposta de produto aberta;

Figuras 9 - Vista frontal angulada da proposta aberta sem o módulo de biossensoriamento;

Figuras 10 - Detalhes do encaixe para o módulo do biossensor, mostrando os encaixes mecânicos e elétricos;

Figuras 11- Detalhes em vista superior do encaixe para o módulo do biossensor, mostrando os encaixes mecânicos e elétricos;

Figuras 12 - Vista frontal do módulo de biossensoriamento;

Figuras 13 - Vista anterior do módulo de biossensoriamento, juntamente com os parafusos e célula em vista explodida;

Figuras 14 - Detalhes da parte frontal de contato mostrando o prisma e os detalhes do encaixe mecânico na base;

Figuras 15 - Vista inferior do módulo, mostrando os encaixes mecânicos e conexões elétricos com a base;

Figuras 16 - Detalhes em vista aproximada da entrada de fluido e parafusos de pressão. Detalhe com o válvula esfera em pressão;

Figuras 17 - Detalhes em vista aproximada da entrada de fluido e parafusos de pressão. Detalhe sem a esfera para mostrar o funcionamento da válvula;

Figuras 18.A - Vista frontal da célula onde ficará o fluido contaminado;

Figuras 18.B - Vista frontal inferior da célula onde ficará o fluido contaminado;

Figuras 19- Vista anterior com detalhes do tamanho da bacia para adequação a norma e mostrando a lâmina de outro no prisma;

Figuras 20- Vista superior com detalhes do tamanho da bacia para adequação a norma regulamentadora 9;

Figuras 21 - Vista frontal da estrutura interna da proposta de produto;

Figuras 22 - Vista Anterior da estrutura interna da proposta de produto;

Figuras 23 - Esquemático completo do circuito eletrônico;

Figuras 24 - esquemático do gerador de função;

Figuras 25 - Esquemático do potenciostato;

Figuras 26 - Esquemático do Lock in;

Figuras 27 - Esquemático da parte de gerenciamento de dados;

Figuras 28 - Esquemático da parte de potência do dispositivo;

Figuras 29 - Tela de gerenciamento de atividades do bitrix 24;

Figuras 30 - Diagrama Gantt do projeto executado;

Figuras 31 - Gráfico de comparação do tempo planejado e gasto no projeto;

LISTA DE ABREVIATURAS

RPS- ME: Ressonância de plasmon de superfície sob modulação eletroquímica;

CI: Circuito Integrado;

TDEF: Trabalho de diplomação de engenharia Física;

INPI: Instituto nacional de proteção intelectual;

RT - PCR: Reverse-transcription polymerase chain reaction, em português, Reação em cadeia da polimerase de transcrição reversa;

ANVISA: Agência nacional de vigilância sanitária;

DNA:Ácido desoxirribonucleico;

RNA: Ácido ribonucleico;

PPRA: Programa de Prevenção de Riscos Ambientais;

NR: Norma regulamentadora;

1.INTRODUÇÃO

No último trimestre de 2019 um novo vírus surge na China. O Vírus foi reconhecido como um coronavírus, um grupo de vírus de genoma de RNA simples (servindo diretamente para a síntese proteica). Este tipo de vírus é conhecido desde meados dos anos 1960, o vírus atual foi classificado como SARS-CoV-2. Para a detecção em massa desse patógeno foram escolhidos dois procedimentos, sendo o principal e mais preciso o RT-PCR e os menos precisos baseados em testes imunológicos. Deve se ressaltar que, as diferentes formas de detecção do vírus ou anticorpos têm funções complementares, sendo que o RT-PCR é adotado como o padrão ouro recomendado pela ANS, enquanto os testes sorológicos exercem a função de auxílio no diagnóstico, especialmente de infecções com sintomas leves, em que o paciente procura atendimento após a janela ideal para realização do RT-PCR (até o 8º dia de sintoma).

Cada teste adotado apresenta aspectos positivos e negativos, nenhum tendo, simultaneamente, qualidade de detecção e agilidade aliados. Dentro deste cenário é preciso a criação de um método de detecção que seja eficaz e de rápido diagnóstico, podendo ser usado em massa. Neste cenário, o RPS-ME é um método de detecção que tem grande potencial de proporcionar tanto velocidade como precisão para os testes em massas, contudo este produto ainda tem um meio de chegar em lugares mais movimentados como hospitais, aeroportos e grandes eventos no geral.

Atacando esse problema, o projeto se propõe a tornar uma técnica de laboratório com grande potencial em um produto que possa ser usado em ambientes não laboratoriais, oferecendo uma opção mais viável aos atuais testes de SARS-Cov 2.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 RPS-ME

O sistema de detecção do DNA relacionado ao RNA viral do SARS-CoV-2 a qual este trabalho se propõe a desenvolver um sistema portátil que se baseia no método de transdução RSP-ME (Ressonância de Plasmon de Superfície sob Modulação Eletroquímica).

A Ressonância de Plasmon de Superfície (SPR, Surface Plasmon Resonance) é um fenômeno físico que tem na área de sensoriamento um terreno fértil para sua aplicação [1]. A RPS pode ser definida como a ressonância gerada pela interação de uma luz incidente sobre filmes finos metálicos. Nessa interação, o campo evanescente, que é gerado quando a luz incidente sofre reflexão interna total na interface de dielétrico-metal, irá excitar os plasmons de superfície (ondas eletromagnéticas que se propagam na direção paralela ao filme metálico na interface metal-dielétrico). Esta ressonância ocorre para determinados comprimentos de ondas e em certos ângulos de incidência da radiação [1].

A técnica de Ressonância de Plasmon de Superfície (RPS) é fundamentada apenas nas propriedades ópticas, sendo empregada em estudos de fenômenos de superfície e pode ser usada, por exemplo, como sensor de índices de refração de diferentes meios. A RPS pode ser entendida também como uma oscilação da densidade de carga que pode existir na interface de dois meios com constantes dielétricas de sinais opostos, nesse caso, um metal e um dielétrico.

As primeiras observações deste efeito foram feitas por Robert Wood em 1902[2]. Quando fazia medições da reflexão da luz em redes metálicas, ele observou algumas alternâncias de claro e escuro em imagens obtidas que não puderam ser explicadas. Depois, os pesquisadores Maxwell Garnett e Mie, entre outros, ampliando o trabalho citado acima, estudaram o espalhamento da luz em partículas esféricas. Entretanto, apenas em 1956, David Pynes[3] fez a descrição matemática dos Plasmons de superfície. Desde então, muitos estudos foram feitos e as aplicações da RPS tiveram um grande avanço.

Em um esquema experimental de excitação de RPS observa-se um feixe de luz que passa ao longo de um prisma com um filme metálico que atua como um espelho. Quando a luz incide com um determinado ângulo Φ no prisma, é refletida por

reflexão interna total e sua intensidade é medida por um detector. Ao variarmos o ângulo de incidência da luz no mesmo filme metálico, vemos que, ao monitorarmos a intensidade da luz refletida, esta passa por um valor mínimo. Neste ângulo Φ , o sinal incidente é refletido e mínimo por a luz fica maioria da radiação incidida fica confinada por reflexão interna total.

O ângulo de incidência da luz onde ocorre a máxima perda de sinal da luz refletida é conhecido como ângulo RPS. A **figura 1** mostra como se pode usar de forma simples a RPS para sensoriamento. Um filme metálico é depositado em uma das faces do prisma e a luz incide no filme e é refletida na direção do detector. Em um certo ângulo de incidência ϕ a excitação RPS ocorre, resultando em um valor mínimo da intensidade da luz medida[4]. Se mudarmos o índice de refração do meio onde a interface dielétrico-filme metálico está inserida, o valor do ângulo de excitação RPS muda dependendo do sistema.

Figuras 1 - configuração kretschmann



Fonte: Resende câmara, Alexandre, nanopartículas metálicas para sensoriamento químico a fibra óptica puc-rio - pontifícia universidade católica do rio de janeiro, mestrado em física, 2010.

A interação entre as cargas da superfície metálica e a onda eletromagnética incidente, que produzem os campos evanescentes geradores dos Plasmons de superfície, tem duas importantes consequências[5]. A primeira é que, resolvendo as equações de Maxwell para as condições onde ocorre RPS, tem-se que a constante de propagação do Plasmon de superfície na interface entre o dielétrico e o metal é dada por:

$$\beta = \kappa \sqrt{\frac{\epsilon_i n_s^2}{\epsilon_i + n_s^2}} \quad (1)$$

onde:

β : É o vetor de onda do plasmon de superfície;

$\kappa = \frac{\omega}{c}$: É o número de onda no espaço livre;

ϵ : É a constante dielétrica do metal e no espaço livre;

n : é o índice de refração do dielétrico;

A segunda consequência importante é que parte do campo incidente penetra no metal (campo perpendicular à superfície) e decai exponencialmente com a distância de penetração, que está relacionada com a espessura do filme metálico depositado no dielétrico, a partir da superfície. Esse campo perpendicular é conhecido como campo evanescente.

Os metais mais utilizados para conseguir RPS são ouro, prata e alumínio pois a ocorrência dos plasmons de superfície dos mesmos se dá na região de comprimentos de onda do visível.

Possíveis melhorias nos atuais métodos de biosensoriamento que utilizam apenas SPR podem ser obtidas a partir do desenvolvimento de uma nova tecnologia ou pela combinação de abordagens já estabelecidas que possam mutuamente contribuir para melhoria da qualidade e robustez dos parâmetros analíticos de interesse. Uma dessas combinações, que tem se mostrado bastante promissora, é a combinação entre a ressonância de plasmon de superfície (SPR) e a eletroquímica[6]. A Ressonância de Plasmon de Superfície sob Modulação Eletroquímica (SPR-ME) monitora, opticamente, os processos faradaicos por meio da mudança no índice de refração que ocorre com a variação do estado redox na superfície do eletrodo.

Apesar da excelente sensibilidade demonstrada em condições de laboratório bem controladas, a configuração SPR convencional não atingiu uma implantação generalizada em aplicações de campo. Mesmo que a técnica SPR convencional seja muito sensível às alterações do índice de refração na superfície, as flutuações de sinal causadas por flutuações de temperatura e vibrações mecânicas e a ligação não específica na superfície podem causar falsas alterações no índice de refração, levando a sinais mal interpretados.

A proposta de unir ao SPR a modulação eletroquímica é recente e mantém os benefícios mitigando a fraqueza da técnica original de SPR. Os efeitos de um potencial elétrico nas propriedades do plasmon de superfície foram demonstrados precocemente para eletrodos de ouro e prata em contato com uma solução eletrolítica. Os mecanismos por trás desse efeito foram identificados como variações na densidade de elétrons na superfície do metal, adsorção de íons e mudanças nas propriedades ópticas da camada dupla. A técnica mostra a capacidade de estudar fenômenos eletroquímicos locais, como as atividades eletroquímicas de nanomateriais que são essenciais para a criação de novos catalisadores, para o desenvolvimento de sensores ultrasensíveis e para a compreensão da nanoeletroquímica fundamental[7].

Um biossensor baseado na técnica SPR-ME foi desenvolvido pelo grupo Meunier[8] através da imobilização na superfície do SPR de uma fita simples de ssDNA que foi conjugada a uma sonda de azul de metileno redox (MB). Esta configuração irá então reduzir o número e a probabilidade de moléculas MB que sofrem uma transição redox sob uma modulação de potencial aplicada e, portanto, um sinal óptico de amplitude inferior é detectado, indicando a presença do analito alvo.

A modulação eletroquímica, em termos gerais, é a alteração do estado de oxidação da molécula, isso é realizado com a aplicação de um campo elétrico sobre a mesma.

2.2 CIRCUITOS EMBARCADOS

Um sistema embarcado (ou sistema embutido) é um sistema microprocessado no qual o computador é completamente encapsulado ou dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla.[9] Diferentemente de computadores de propósito geral, como o computador pessoal, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas, geralmente com requisitos específicos. Já que o sistema é dedicado a tarefas específicas, através de planejamento prévio, pode-se otimizar o projeto reduzindo tamanho, recursos computacionais e custo do produto.[10] Assim, tornando o produto eficiente, barato e com os recursos adequados.

Nos primeiros anos dos computadores digitais na década de 1940[11], os computadores eram por vezes dedicados a uma única tarefa. Eram, entretanto, muito grandes para serem considerados embarcados. O conceito de controlador programável foi desenvolvido muito tempo depois. O primeiro sistema embarcado reconhecido como

tal, foi o sistema aeroespacial Apollo Guidance Computer[12], desenvolvido por Charles Stark Draper no MIT. O computador de guia, que operava em tempo real, era considerado o item mais arriscado do projeto Apollo. O uso de circuitos integrados monolíticos para reduzir o tamanho e peso do equipamento aumentou tal risco.

O primeiro sistema embarcado maciçamente produzido foi o sistema militar computador-guia do míssil nuclear LGM-30 Míssil Minuteman, lançado em 1961[13]. Ele possuía um disco rígido para a memória principal. Quando a segunda versão do míssil entrou em produção em 1966, o computador guia foi substituído por um novo, que constituiu o primeiro uso em grande volume de circuitos integrados. A tecnologia desse projeto reduziu o preço de circuitos integrados como o NAND de mil para três dólares americanos cada, permitindo seu uso em sistemas comerciais. Desde suas primeiras aplicações na década de 1960[14], os sistemas embarcados vêm reduzindo seu preço. Também tem havido um aumento no poder de processamento e funcionalidade. Em 1978 foi lançada pela National Electrical Manufacturers Association a norma para microcontroladores programáveis[15].

Circuitos digitais possuem atrasos na propagação de seus sinais. Estes atrasos podem ocorrer devido ao tempo que cada porta lógica leva para gerar um sinal de saída, dada uma mudança no sinal de entrada, e devido à propagação dos sinais através dos fios do circuito. Logo, a velocidade de um circuito digital é sempre limitada de acordo com o maior atraso do circuito, causado pelas portas lógicas. O caminho com maior tempo de atraso, pois passa por mais dispositivos de processamento, logo sofrendo um atraso em relação a circuitos que passam por menos dispositivos, entre dois pontos do circuito é chamado de caminho crítico, com isso o lock in é crucial para o casamento dos diferentes sinais ao longo do circuito.

Neste projeto a ideia é exatamente a mesma que proporcionou o sucesso e a evolução da ideia de circuitos embarcados. O projeto pretende mostrar uma proposta viável de um circuito embarcado de RPS-ME, miniaturizando um sistema já existente que utiliza diversos componentes externos que possuem mais de uma função.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 PESQUISA

Seguindo o cronograma apresentado no TDEF1 o desenvolvimento do projeto se iniciou por pesquisas nos diferentes caminhos necessários para se atingir o objetivo proposto.

A conclusão de cada uma das etapas pesquisadas estará no item **3.2.1 Modelagem da parte externa** em proposta de produto, com a Figura do circuito final e a explicação da proposta.

3.1.1 Análise do atual sistema

Foi estudado a função de cada uma das etapas e dos dispositivos do atual equipamento. Abaixo é segmentado e detalhado cada uma dessas partes, assim tornando mais simples de entender as futuras propostas de substituição.

Detector: O biossensor é o ponto central da instrumentação, sendo o local onde terá contato direto com a amostra, fazendo parte da transdução para o restante do circuito. Sendo composto por filmes finos de ouro e cromo sob um bulk de vidro. Logo, é de crucial importância a manutenção de diversos fatores que melhoram o seu desempenho, como o contato com o prisma e com o líquido a ser medido. Essa interface prisma/detector/recipiente é um ponto crucial, pois além de manter a qualidade de detecção, deve evitar vazamentos.

Prisma: O prisma é usado para criar uma superfície dielétrica com o filme de ouro e confinar a luz. O filme fino de metal (neste caso ouro) do detector é posicionado perto o suficiente da parede do prisma para que uma onda evanescente possa interagir com as ondas de plasma na superfície e, portanto, excitar os plasmons da interface filme fino/líquido e após fazer as detecções na amostra.

LASER: A fonte de luz usada para excitação, criação dos plasmons e faz parte da detecção. A onda eletromagnética deve ser entre 650 e 470 nm e no ângulo tal, para maior eficiência do sistema.

Polarizador: Os polarizados servem para, obviamente, controlar a polarização da luz emitida pelo LASER. A polarização é necessária para amplificar o efeito plasmônico na interface metal/dielétrica é a P.

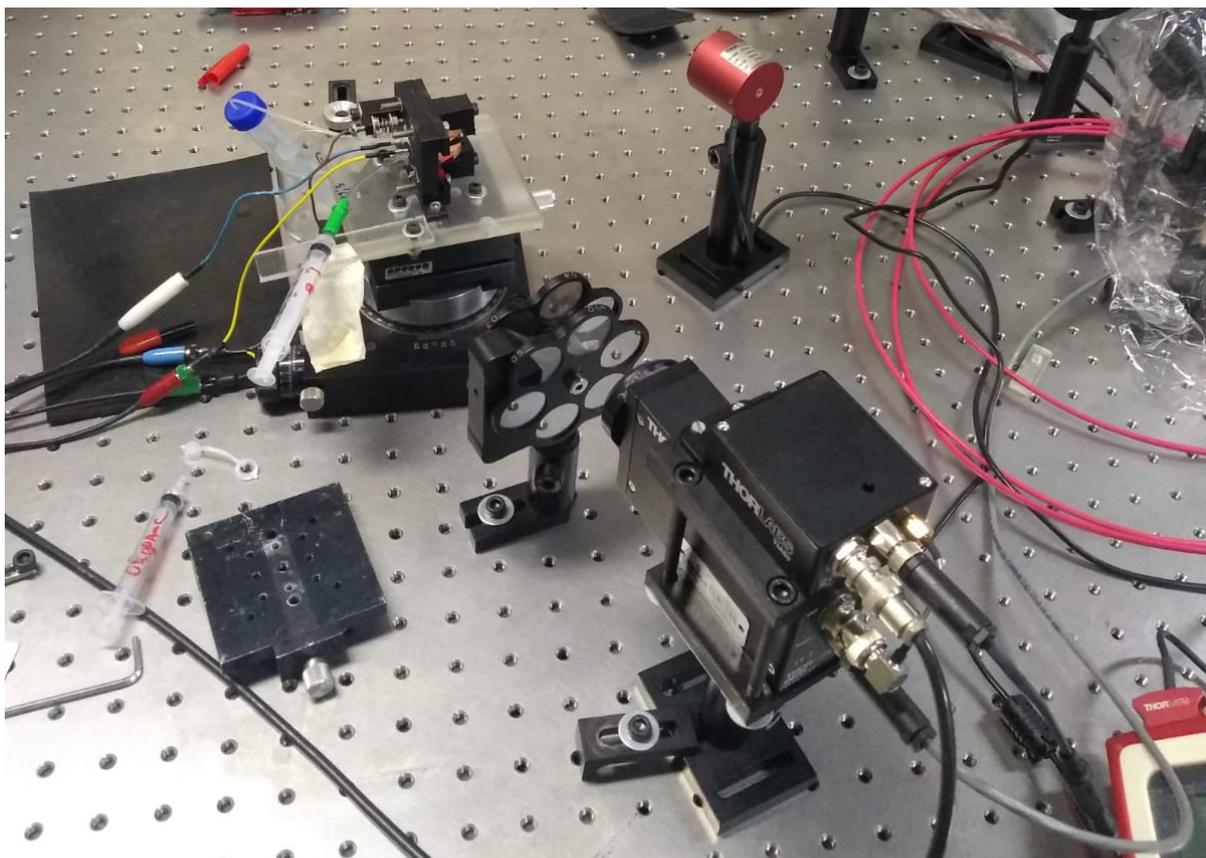
Gerador de função: O gerador de função é a origem para o sinal elétrico definindo a frequência de modulação, sendo conectado ao potenciostato para aplicar uma modulação de potencial sinusoidal para conduzir a oscilação do MB em seu estado redox.

Potenciostato: Controla o potencial elétrico que é aplicado na interface SPR metálica enquanto a refletividade da luz é monitorada em um ângulo de incidência de acordo com o comprimento de onda específico bem escolhido, o ângulo é determinado a partir do comprimento de onda. É definindo um potencial de polarização DC para um potencial formal particular de espécies redox adsorvidas na interface plasmônica e aplicando um potencial modulado por AC para forçar a oscilação dessas espécies redox entre seus estados oxidado e reduzido, assim alterando as propriedades do sinal óptico modulado na reflexão.

Osciloscópio: Usado para análise visual das variações de intensidade ocasionadas pela presença ou não do alvo na amostra. Faz a comparação do sinal medido com o sinal referencial do lock in. Este é um acessório opcional.

Lock-in amplificador: Realiza a amplificação do sinal medido para uma comparação mais adequada em relação ao sinal do lock in.

Figura 2 - Bancada do atual dispositivo de detecção via RPS-ME, Figuras com foco no sistema do biossensor.



Fonte: Autor foto do atual dispositivo, mostrando o LASER, o polarizador, o biossensor em sua base e o detector, 2021.

3.1.2 Eletrônica

A parte eletrônica que foi pesquisada ao longo do trabalho teve duas principais partes.

A primeira sobre a troca dos atuais dispositivos para circuitos de uso específicos que tornassem o produto menor mantendo a qualidade de detecção.

Essa etapa teve bastante sucesso, pois todos os dispositivos puderam ser substituídos por circuitos de menor dimensionamento. O atual dispositivo foi segregado, pelas suas partes eletrônicas, conforme descrito no item anterior em sensor, detector, gerador de função, potenciostato, amplificador, osciloscópio, lock-in amplificador.

Os componentes com possibilidade de troca, após os estudos realizados são: o gerador de função, potenciostato, amplificador, osciloscópio e lock-in amplificador. Nesta etapa foi verificada a possibilidade de construção em circuitos específicos, e suas funcionalidades mantidas, por comprovação teórica apenas. Algumas possibilidades foram descartadas na breve análise do circuito por não serem robustas o suficiente para uso em um produto portátil.

A segunda etapa foi a integração de diferentes circuitos para comunicação entre si e a formação de uma unidade. As leituras das referências[16][17][18], fizeram com que este processo deixasse de ser complexo e ficasse algo mais real para a proposta de projeto, pois os circuitos em questão podem ser interligados de formas independentes, pensando os processos como máquinas com entrada, processamento, atuação e saída do resultado.

3.1.3 Mecânica e estrutura

A estrutura para a proposta de novo produto foi inicialmente pensada e então pesquisada para suportar deslocamentos do equipamento e também evitar que interferências externas possam interferir na qualidade de detecção. Logo, para obter essas condições, foram obtidas ao longo das pesquisas duas possibilidades. A primeira, sendo uma estrutura com suportes flutuantes, anti-vibração e robusta. A outra possibilidade, foi uma estrutura simples onde os instrumentos principais estão sob as mesmas condições de vibração, mas seguro para deslocamento. Foram estudados os pontos positivos e negativos de cada possibilidade.

Neste ponto foram estudadas as referências [19][20] para a correta construção da base mecânica em cada uma das possibilidades.

3.1.4 Óptica

O sistema óptico é um dos corações desses sistema de medida, e por isso merece uma atenção especial. Sendo assim, a parte óptica ficou dividida em duas partes sendo elas: A primeira parte que pode ser alterada e a segunda que são as partes que serão somente importadas do sistema atual. Esta divisão foi feita, pois o escopo deste trabalho é a miniaturização do atual sistema, logo para conseguir esse fim, algumas etapas precisam ser priorizadas frente a outras. Neste sentido, a parte óptica que foi classificada na primeira parte não faz diferença nos detalhes, para este projeto, e pode ser tratado somente como uma “caixinha preta”. Essa visão, sobre o sistema, não reduz a importância ou ainda não se refere à negligência deste projeto sobre a parte óptica, apenas está sendo focalizado atenção para a parte que precisa ser analisada.

A primeira parte que pode ser alterada, é o modelo de LASER, visando reduzir o espaço e o número de componentes, assim como o detector e o sistema de aquisição de dados.

A segunda etapa, que não pode ser alterada, consiste basicamente no sistema de biosensoriamento, onde este trabalho fez modificações apenas de dimensões e de sustentação mecânica, mantendo as características núcleo do sensor.

3.1.5 Equipamentos hospitalares

Equipamentos que trabalham com amostras contaminadas precisam respeitar a NR-32[21] e precisam ter alguns cuidados para com o usuário além de descrevem em seu manual todos os EPIs necessários, e na sua construção devem buscar a maximização de proteções coletivas, conhecidas como EPCs. Além disso, estes equipamentos devem atender o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA, previsto na NR-09[22].

O Ministério da Saúde expediu a Portaria nº 1608/2007, que aprova a classificação de risco dos agentes biológicos, elaborada em 2004, atualizada em 2006 e 2010, pela Comissão de Biossegurança em Saúde (CBS) do Ministério da Saúde. Os critérios de classificação baseiam-se em: virulência, modo de transmissão, estabilidade do agente, concentração e volume, origem do material potencialmente infeccioso, disponibilidade de medidas profiláticas e de tratamento eficazes, dose infectante, tipo de ensaio e fatores referentes ao trabalhador, dentre outros.

Segundo a classificação da norma, este produto está classificado na classe de risco 3, que significa:

- CLASSE DE RISCO 3: alto risco individual e moderado risco coletivo

Inclui os agentes biológicos que se transmitem por via respiratória e que causam patologias humanas ou animais, potencialmente letais, para as quais existem usualmente medidas profiláticas e terapêuticas eficazes. Representam risco se disseminados na comunidade e no ambiente, podendo se propagar de pessoa a pessoa. Ex.: *Mycobacterium tuberculosis**, *Bacillus anthracis*, *Coccidioides immitis*, *Clostridium botulinum*, *Escherichia coli* enterohemorrágica, *Shigella dysenteriae*, Hantavírus, vírus da Febre Amarela, vírus da Chikungunya, Influenza A H5N1 e H1N1, dentre outros.

Sabendo que o dispositivo será de risco 3, podemos prever os mecanismos de proteção para o usuário. Durante a leitura de artigos e portarias sobre o assunto de proteção hospitalar, foi possível obter a ideia da criação de um módulo descartável ou facilmente substituível.

A ideia de tornar parte do sistema que terá contato com o fluido contaminado descartável foi o grande resultado das pesquisas dentro desta etapa, além de ver os quesitos mínimos para o equipamento respeitar as normas vigentes. A base do equipamento terá que suportar esse tipo de conteúdo.

3.2. PROPOSTA FINAL PARA O PRODUTO

Ao final das etapas anteriores e passando pelos rascunhos não aprovados ou nem desenhados, foi desenvolvido a versão viável para miniaturização do equipamento de bancada, que agora será apresentada:

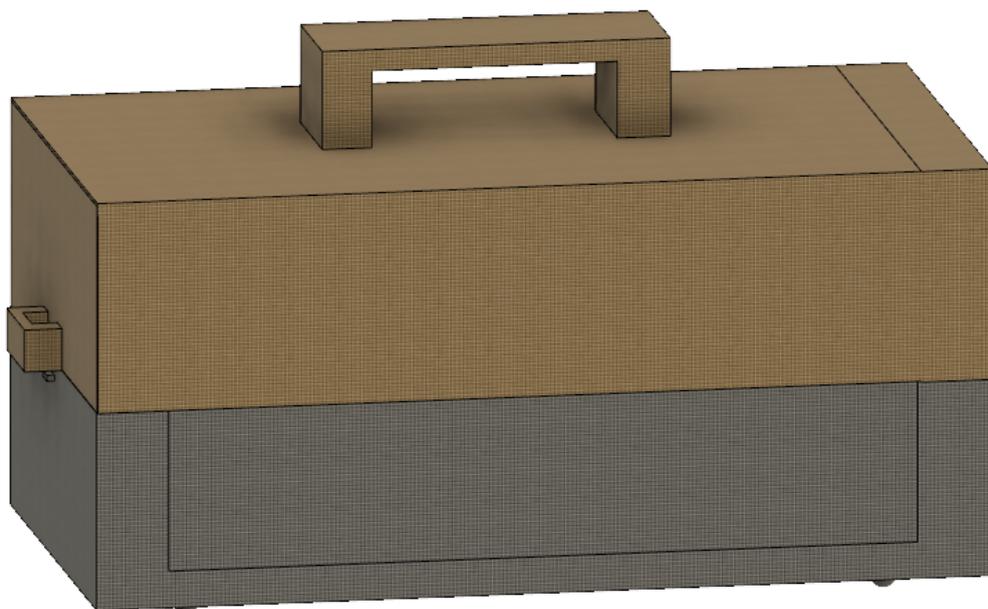
O dispositivo foi modelado no software fusion 360 da Autodesk com uma licença para estudante, usando o sistema de criação de modelagem vetorial. O produto pode ser fabricado em algum plástico de engenharia como o PP que é o mais indicado e barato. Outra opção é fazer o produto em alguma liga leve de metais, contudo, esta opção é menos escalável a nível industrial e mais cara.

3.2.1 Modelagem da parte externa

A proposta para o produto prevê duas partes, sendo elas divididas entre a base e a tampa. A base está localizada na parte inferior do produto, na Figura está na cor cinza, esta fração do equipamento conta com toda a parte de detecção, elétrica e de comunicação. A tampa é a parte superior, que está na cor marrom, não tem nenhuma função, além de ser a parte onde há a alça para facilitar o transporte do equipamento, tendo dois encaixes laterais onde ocorre a união via pegador na parte superior.

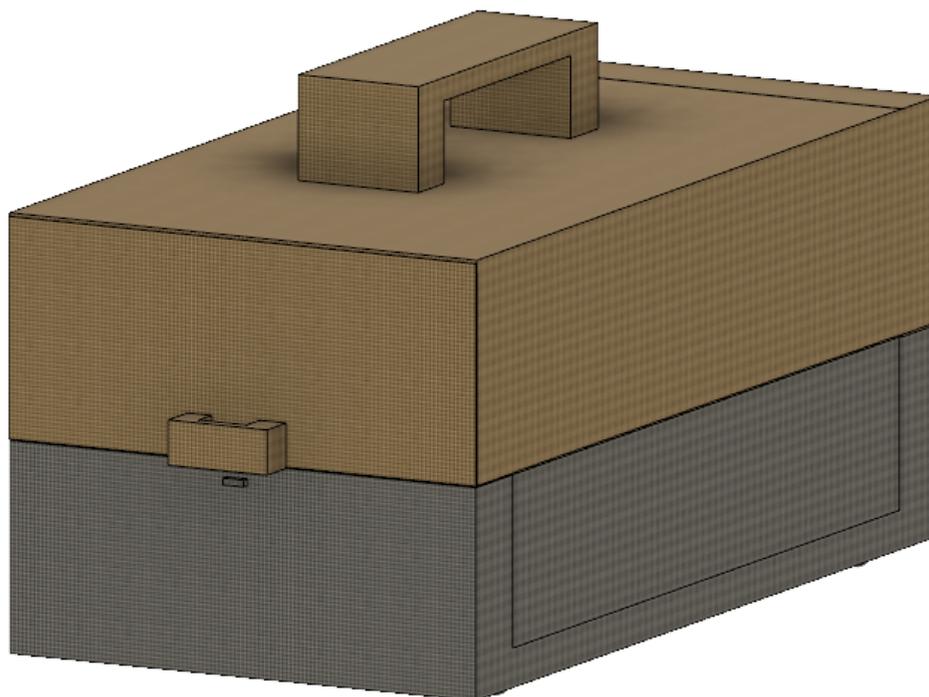
A ideia é tornar o transporte ainda mais facilitado, pois além do pegador, as dimensões do produto ficaram extremamente reduzidas.

Figura 3- vista frontal da proposta de projeto fechada.



Fonte: Autor, 2021.

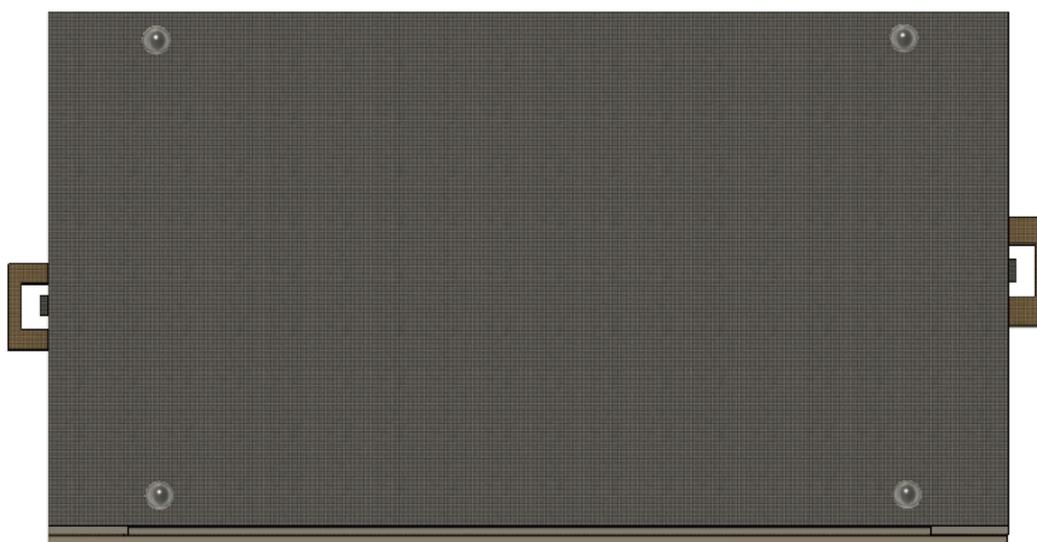
Figura 4- Figuras lateral esquerda da proposta de produto fechada



Fonte: Autor, 2021.

O produto está planejado para ter 36cm de comprimento, 17cm de altura (sem contabilizar a alça)e 19cm de profundidade. A parte inferior possui 4 semi esferas onde há furos para parafusos unirem a base inferior com a estrutura interna.

Figura 5 -Vista inferior externa



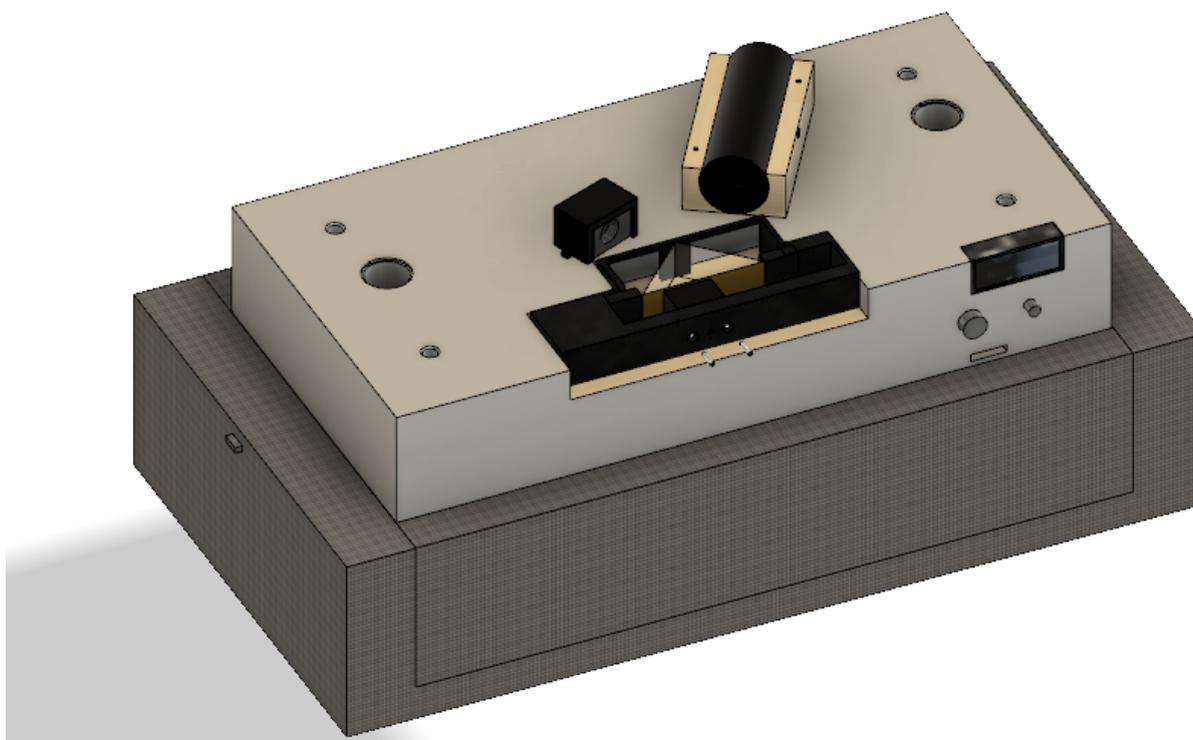
Fonte: Autor, 2021.

3.2.2 Parte interna Superior

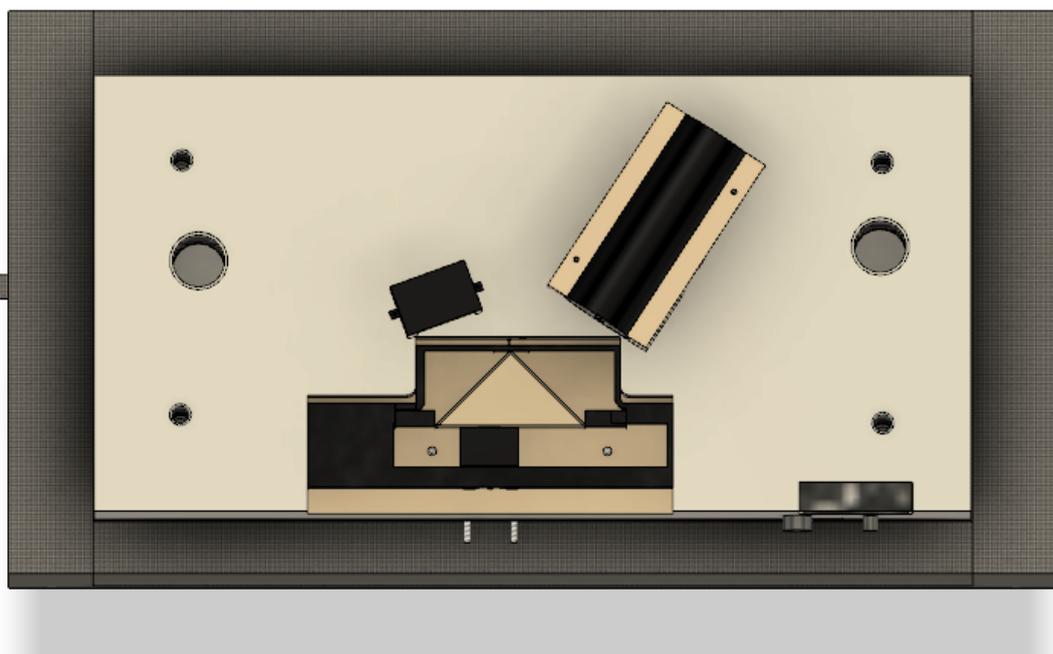
Ao retirar a tampa do equipamento, será possível acessar a parte interna e iniciar o processo de testagem. O equipamento possui dois botões, um deles liga o equipamento, o outro é usado para se iniciar cada medição, ativando o circuito até ser novamente acionado para desligar a medição. Após isso, no display é mostrado o resultado que também pode ser enviado ao mecanismo externo via comunicação USB.

A parte interna tem 30 cm de comprimento, 15 cm de profundidade e a altura da parte que mede 5 cm. O display está posicionado no lado direito logo acima dos dois botões que inicializam o produto.

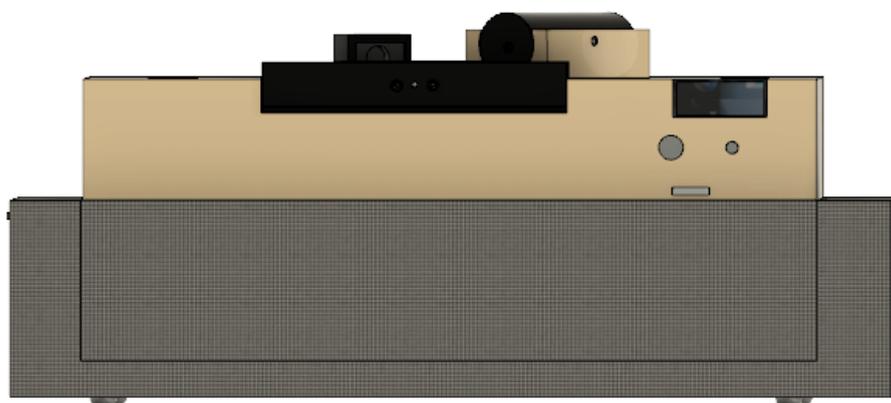
Figura 6 - Vista frontal angulada da proposta de produto aberta.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 7- Vista superior do produto aberto

Fonte: Autor, 2021.

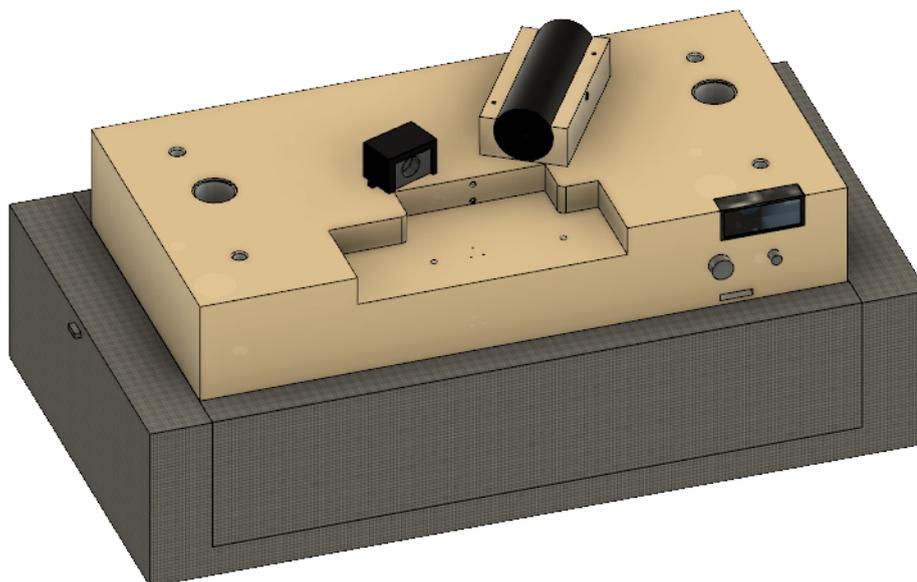
Figura 8- Vista frontal da proposta de produto aberta.

Fonte: Autor, 2021.

O conjunto do biossensor pode ser facilmente retirado da base sendo puxado para trás. A escolha desta opção é para facilitar e baratear o produto, pois, caso o conjunto do biossensor não fosse inteiramente removido, a parte onde passa o fluido contaminado precisaria ser esterilizada. Logo, com um sistema removível, é possível realizar os procedimentos de limpeza enquanto há outro teste em andamento, dando

agilidade ao processo e baixando os custos, pois somente uma parte pequena é necessária ser limpa, e não todo o equipamento.

Figura 9 - Vista frontal angulada da proposta aberta sem o módulo de biosensoriamento.

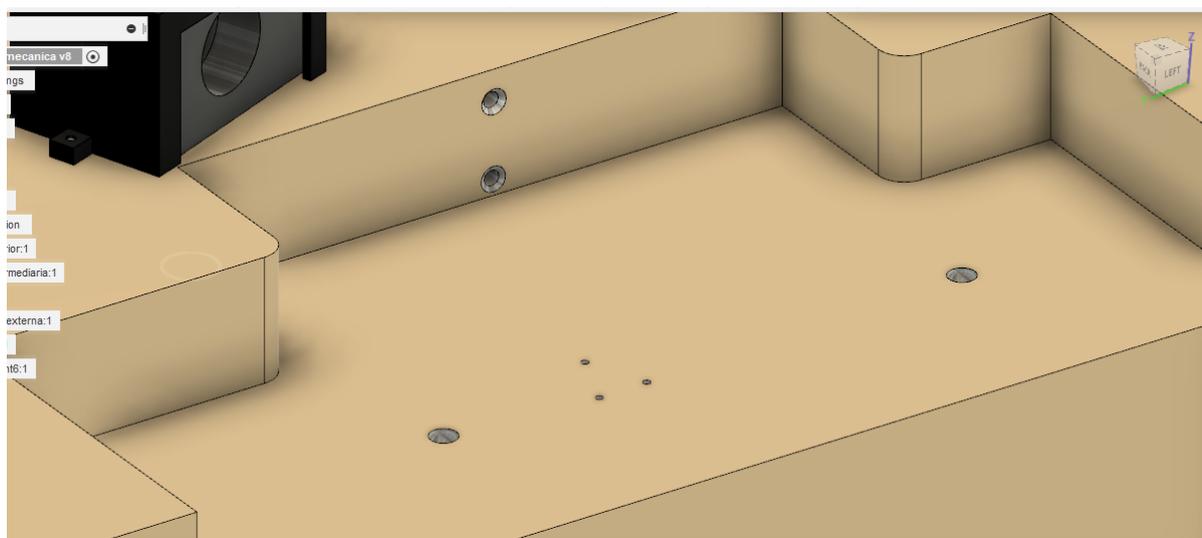


Fonte: Autor, 2021.

O módulo biosensor possui um conjunto de sistemas de encaixe com a base. Primeiro, um conjunto mecânico consiste em dois pinos com a ponta abaulada para dar uma melhor precisão no local. O sistema fica completo com duas semi esferas na parte inferior de contato do módulo com a base, mostrando ao usuário que o módulo está no lugar adequado.

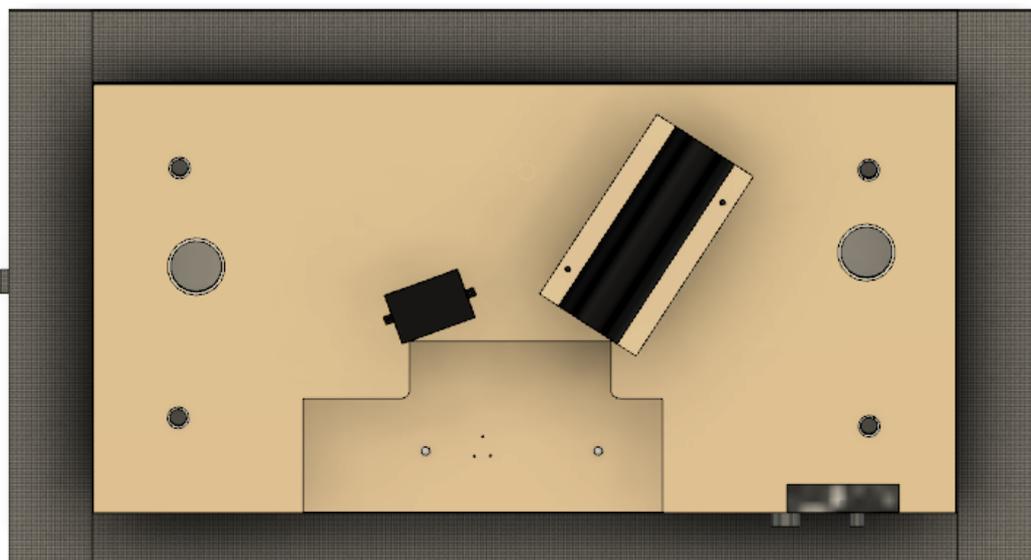
O contato elétrico da base com o módulo para alimentar os eletrodos, é feito através de três pinos que ficam na base e se comunicam quando o módulo é encaixado.

Figura 10 - Detalhes do encaixe para o módulo do biossensor, mostrando os encaixes mecânicos e elétricos.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 11- Detalhes em vista superior do encaixe para o módulo do biossensor, mostrando os encaixes mecânicos e elétricos.



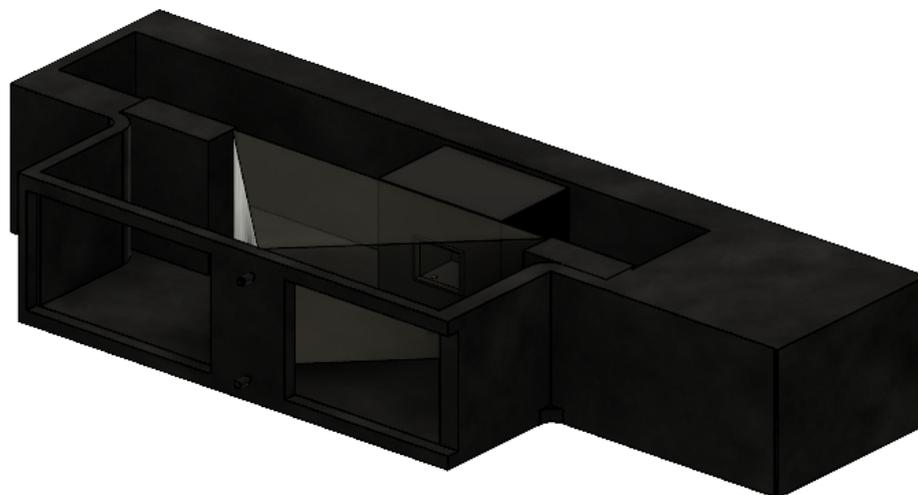
Fonte: Autor, 2021.

3.2.3 Biossensor e suporte

O conjunto para o biossensor foi pensando em manter as características ópticas do equipamento de bancada, além disso aqui a NR sobre equipamentos com amostras contaminadas, também foi importante para a determinação do formato, do espaço para caso ocorra vazamento, e a ideia de ser algo que pode ser retirado a cada medida e

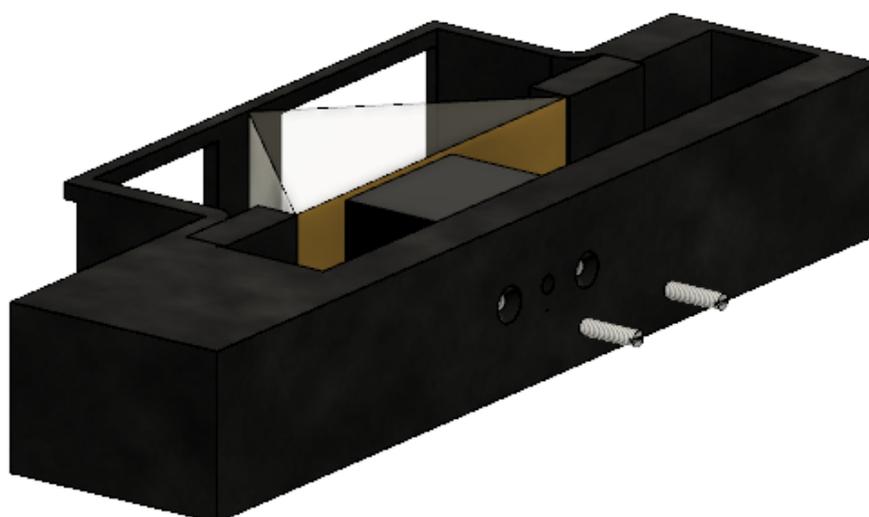
trocado por um novo, enquanto há a correta limpeza/esterilização das partes que têm contato com o fluido contaminado.

Figura 12 - Vista frontal do módulo de biosensoriamento



Fonte: Autor, 2021.

Figura 13 - Vista anterior do módulo de biosensoriamento, juntamente com os parafusos e célula em vista explodida



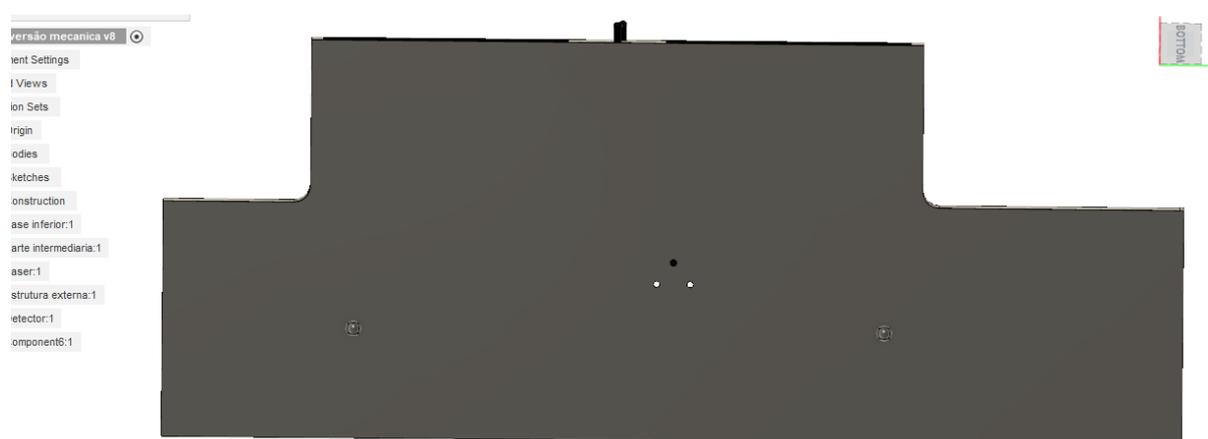
Fonte: Autor, 2021.

Figura 14 - Detalhes da parte frontal de contato mostrando o prisma e os detalhes do encaixe mecânico na base.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 15 - Vista inferior do módulo, mostrando os encaixes mecânicos e conexões elétricas com a base

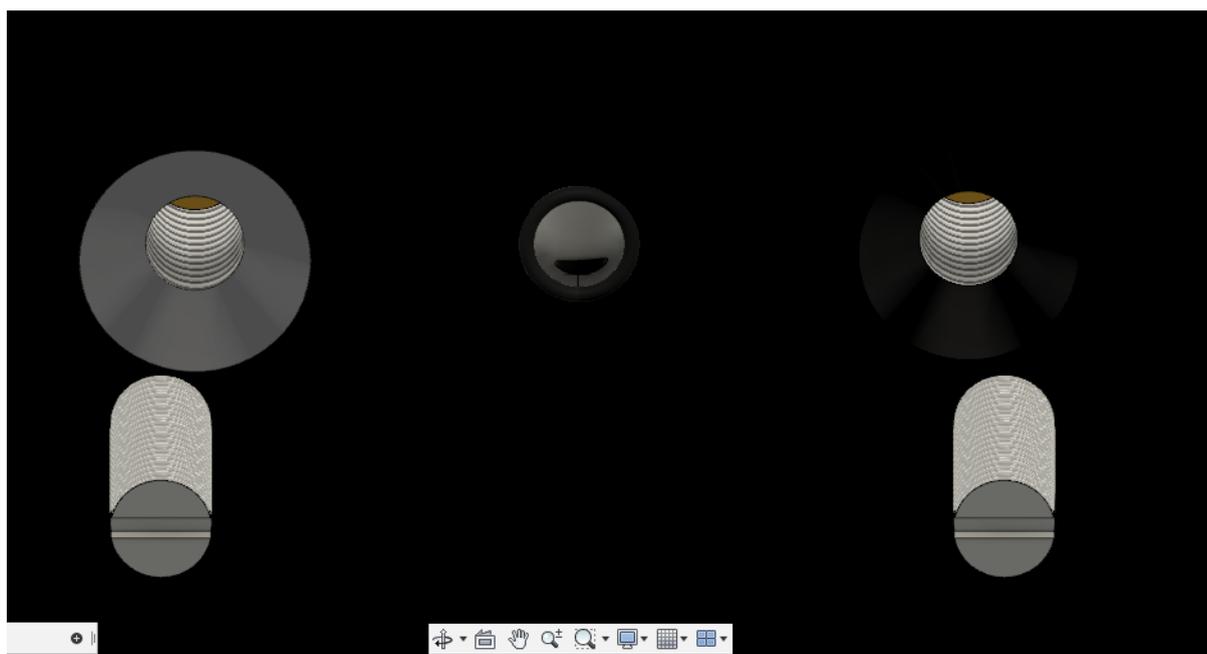


Fonte: Autor, 2021.

Ao redor de cada buraco que tem a conexão elétrica, há uma borracha de vedação que evita vazamento pelo contato de alimentação do potencial para a célula. Com o suporte do biossensor no lugar, é possível fazer a inserção da amostra via duto

de alimentação. Para que não vazze retornando o líquido, foi posicionado na entrada do duto, uma válvula mecânica bem simples baseada em uma injetora de plásticos[23] e em válvulas usadas em sistemas pneumáticos[24]. Essa válvula é muito simples, pois consiste basicamente em uma esfera com o tamanho exato do duto, posicionada num intervalo limitado do duto, parte desse intervalo possui uma vala, que quando há entrada de material, a esfera se move até essa vala, preenchendo o compartimento. Ao final do compartimento a pressão no sentido contrário faz a esfera retornar à posição inicial vedando novamente o duto. Em volta da entrada da válvula, também há uma borracha de vedação. A ideia dessas borrachas também foi retirada de injetoras de plásticos, que quanto maior a pressão exercida, maior o poder de vedação da mesma. Ainda para manter a pressão adequada entre o prisma a parte célula onde fica a fluido, há dois parafusos que podem ser regulados para aumentar a pressão entre as partes.

Figura 16 - Detalhes em vista aproximada da entrada de fluido e parafusos de pressão. Detalhe com o válvula esfera em pressão.



Fonte: Autor, 2021.

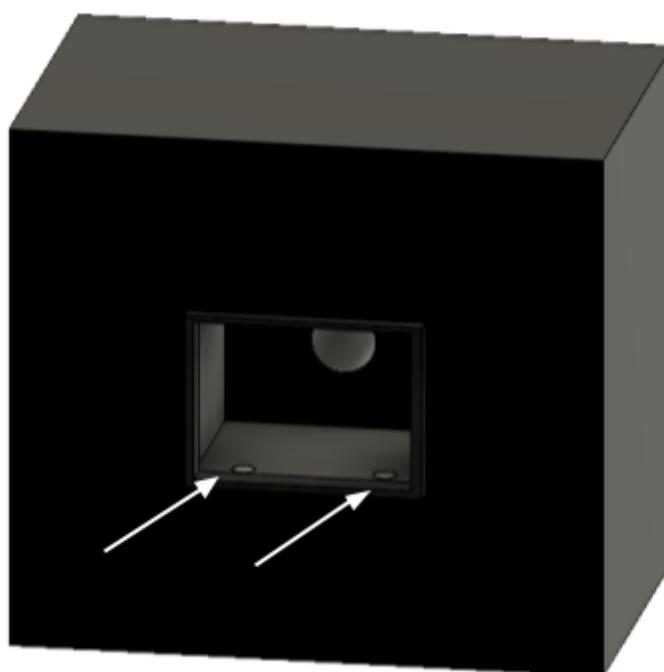
Figura 17 - Detalhes em vista aproximada da entrada de fluido e parafusos de pressão. Detalhe sem a esfera para mostrar o funcionamento da válvula.



Fonte: Autor, 2021.

A célula interna ao módulo do biossensor também pode ser retirada para facilitar a higienização e esterilização do acessório. Essa parte contém também toda a parte dos eletrodos para modulação eletroquímica, esses eletrodos também possuem vedação por borracha para evitar vazamentos. Ainda na parte interna da célula uma saída de ar que está posicionada para a bacia, pois em caso de vazamento não haverá problema para o operador.

Figura 18.A - Vista frontal da célula onde ficará o fluido contaminado. As setas brancas mostram os eletrodos dentro da célula.



Fonte: Autor, 2021.

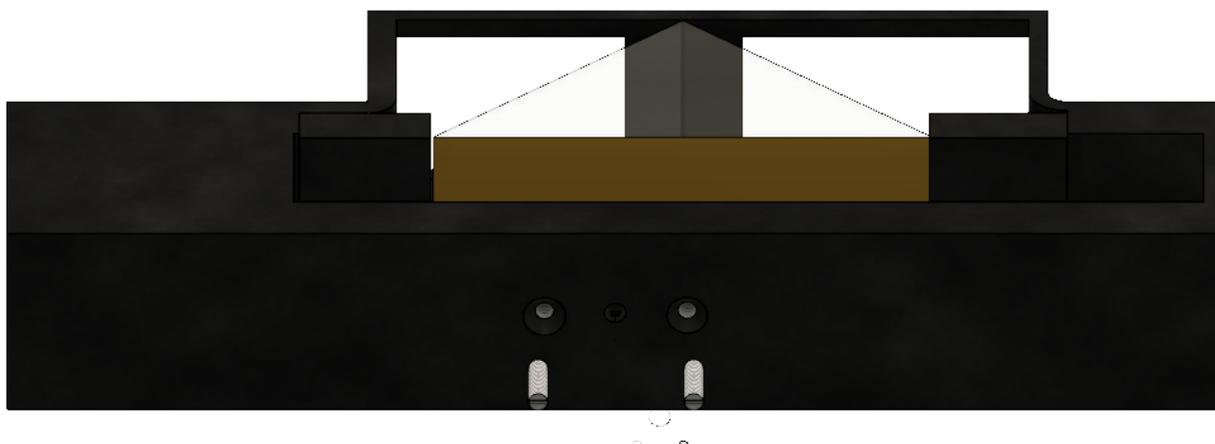
Figura 18.B - Vista frontal inferior da célula onde ficará o fluido contaminado. Seta branca mostrando a saída de ar.



Fonte: Autor, 2021.

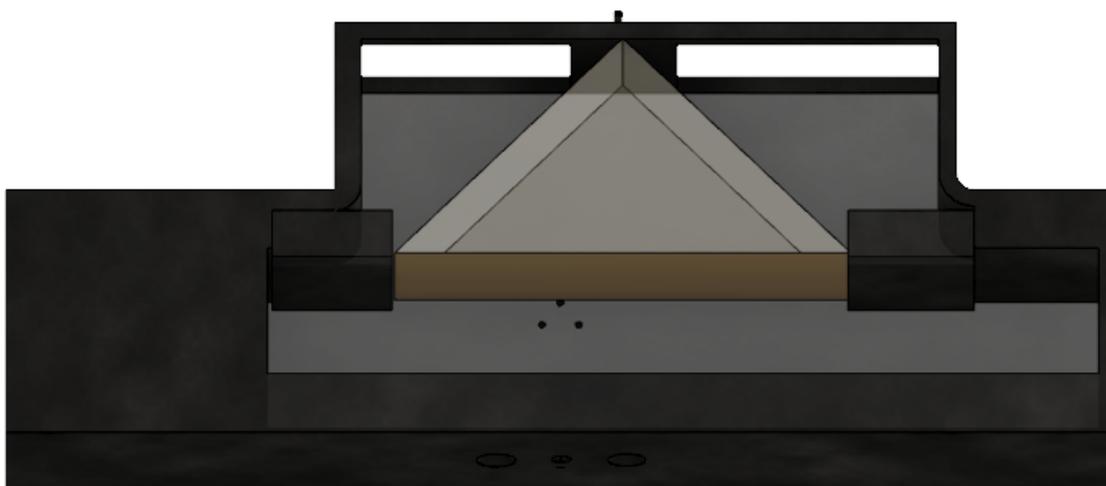
O módulo do biossensor possui uma bacia para em casos de vazamentos não ter nenhum risco de contaminação do operador, essa bacia é muito maior que o volume presente na célula, isso serve para o equipamento ficar dentro das NR, assim podendo ser comercializado com as empresas.

Figura 19- Vista anterior com detalhes do tamanho da bacia para adequação a norma e mostrando a lâmina de outro no prisma



Fonte: Autor, 2021.

Figura 20 - Vista superior com detalhes do tamanho da bacia para adequação a norma regulamentadora 9.



Fonte: Autor, 2021.

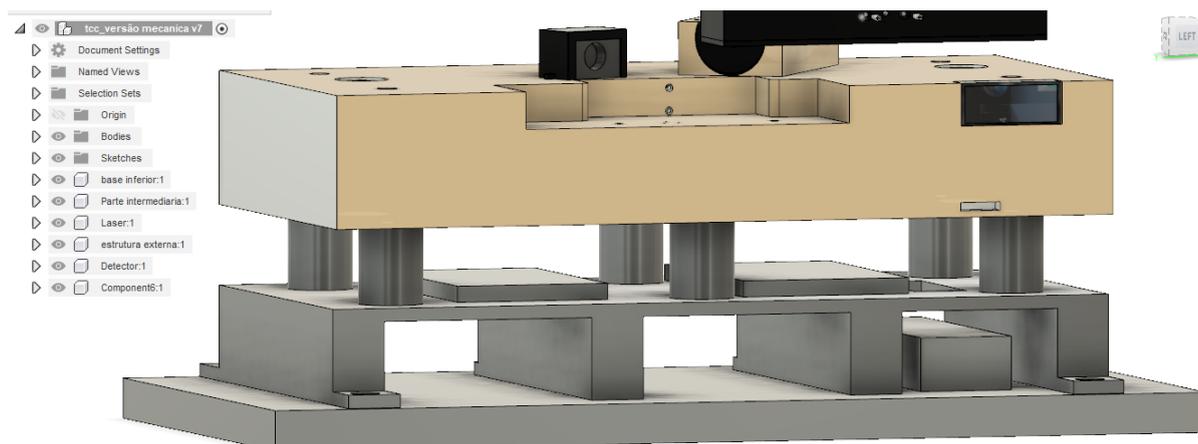
3.2.4 Parte inferior interna

Para demonstrar como foi pensado a estrutura interna do equipamento, essa seção agora mostra o produto sem a carcaça externa inferior, que tecnicamente, estas vistas podem ser chamadas de corte AA no desenho.

A parte inferior logo acima da primeira base (chão), há o módulo de alimentação principal, o equipamento pode ser alimentado via bateria, ou ainda com alimentação externa na faixa de 110-240 volts. A opção pode ser escolhida abrindo o equipamento e escolhendo entre bateria ou alimentação externa, a seleção de tensão é automática quando a alimentação externa é selecionada.

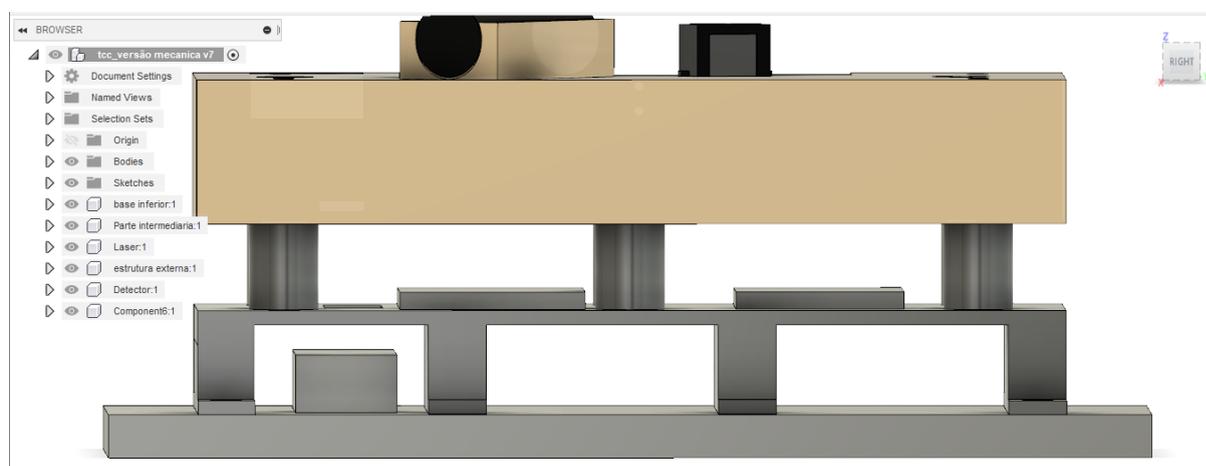
No segundo andar há duas placas de circuito impresso, cada uma com sua função específica. A placa da esquerda é onde há os circuitos que fazem o controle da modulação eletroquímica e o gerador de função. Na placa da direita há o lock-in, o controle de alimentação do LASER e do detector a parte de processamento de dados e de exibição dos dados. Os detalhes serão aprofundados no próximo capítulo sobre a parte eletrônica. As placas estão separadas, contudo, há comunicação entre elas.

Figura 21 - Vista frontal da estrutura interna da proposta de produto.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 22 - Vista Anterior da estrutura interna da proposta de produto.



Fonte: Autor, 2021.

3.3 ELETRÔNICA

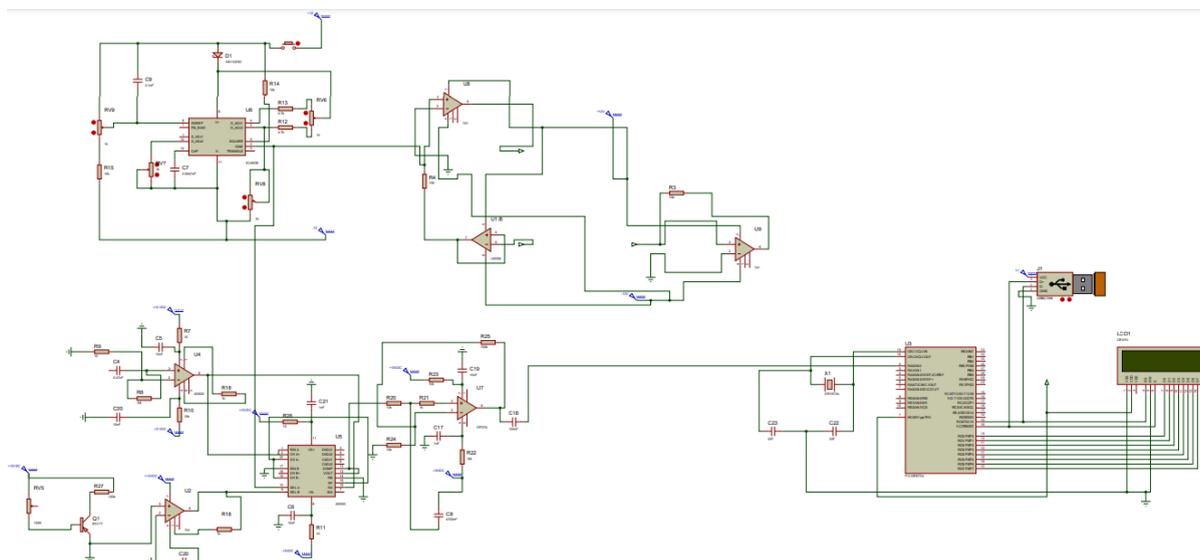
Agora que a estrutura e os detalhes do equipamento foram mostrados, a proposta do produto está melhor compreendida, é possível avançar para a parte do dispositivo eletrônico.

Os circuitos eletrônicos foram desenvolvidos e simulados no software protheus versão 8.9 com uma licença de estudante.

O circuito eletrônico completo é disposto no programa sem a ordenação de prototipação, pois pode variar conforme fabricantes escolhido e tecnologia de impressão de placas. Para evitar poluição do circuito, as linhas de alimentação da fonte foram substituídas por representações em formato de triângulo na cor azul com a indicação da tensão ofertada no ponto, assim como para a representação do aterramento.

A fim de mostrar melhor cada circuito e ajudar na compreensão dos leitores, os cortes no circuito, que estão separados em diferentes figuras, têm indicação, por numeração, no sentido do tráfego das informações pelos diferentes cortes.

Figura 23 - Esquemático completo do circuito eletrônico.

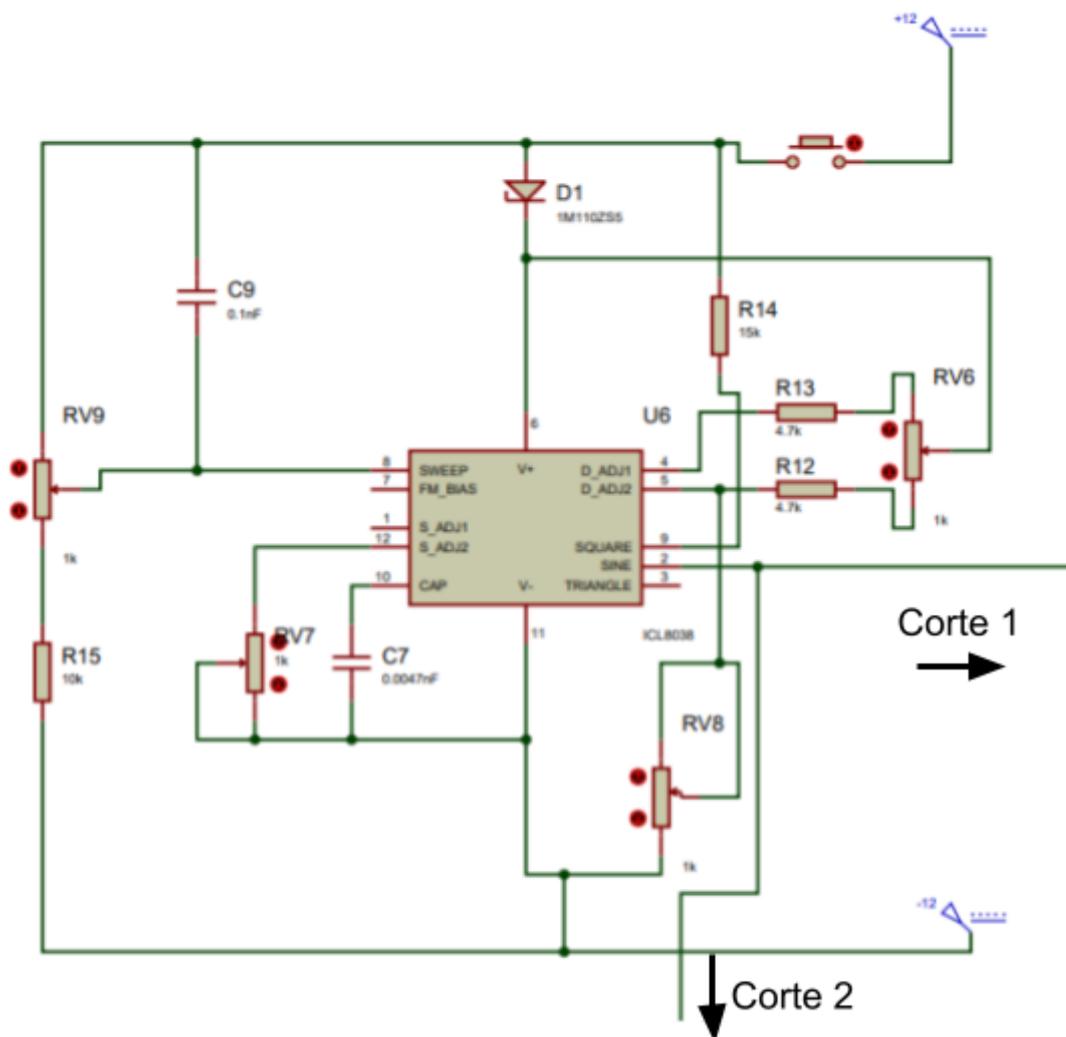


Fonte: Autor, 2021.

Agora abrindo sobre cada parte do circuito, a se iniciar sobre o gerador de função, uma máxima foi seguida no projeto, a utilização de maior número possível de CI com funções já pré determinadas. O motivo desta escolha é dado, basicamente, pela alta impedância e confiabilidade que esses componentes oferecem ao circuito. A alta impedância escolhida nos isola diferentes partes do circuito, podendo pensar no dispositivo como a união de diferentes blocos, tornando assim todo dispositivo mais fácil de integração. O termo confiabilidade usado para descrever o CI é auto explicativo neste caso.

Foi escolhido o CI AWLP 163 pela sua qualidade no sinal de saída e baixo consumo energético para funcionamento. O sinal de saída possui alta simetria entre os comprimentos de onda, podendo ser ligado e desligado não precisando de longos períodos para estabilização do sinal de saída.

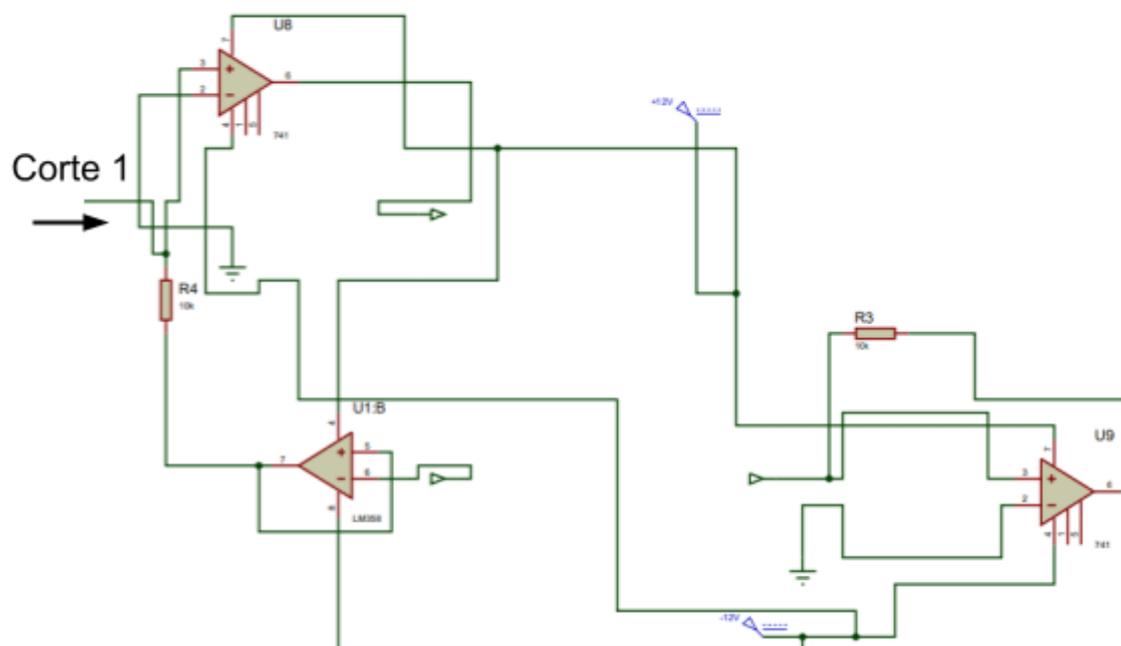
Figura 24 - esquemático do gerador de função



Fonte: Autor, 2021.

O potencial foi trocado por um conjunto de amplificadores de sinal que são regulados pelo gerador de função. O amplificador operacional escolhido, permite um ganho sem ruído em até 50 dB de ganho, garantindo que o sinal enviado para detecção seja o mais limpo possível de ruídos. O potencial pode ser controlado pelo trimpot presente no gerador de função. S1 é o eletrodo de referência, o S2 é contra eletrodo e o S3 é o eletrodo de trabalho.

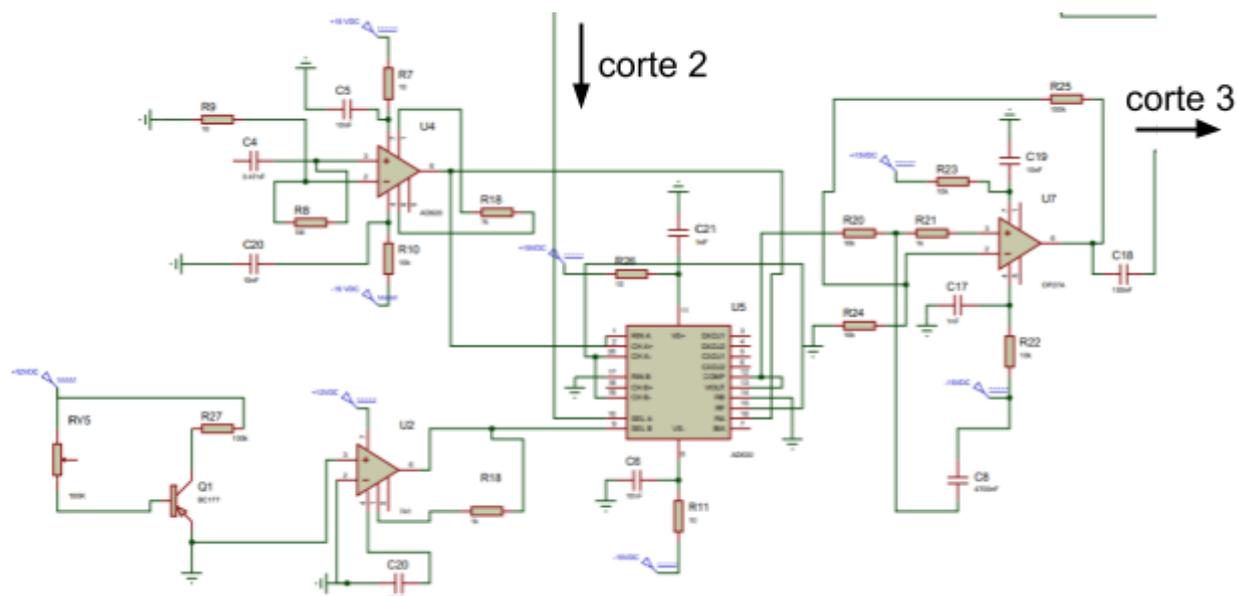
Figuras 25 - Esquemático do potenciostato.



Fonte: Autor, 2021.

O Lock in é um dispositivo que precisa de muito cuidado ao ser escolhido, principalmente pelo seu circuito PLL e seus filtros. Aqui foi escolhido um template pronto indicado pelo fabricante do CI, sendo alterado apenas os valores de componentes externos para ficarem dentro do nosso intervalo de trabalho. O CI escolhido foi o AD630, neste dispositivo temos o onde pode-se ver os dois canais A para o sinal vindo do detector e o B para a referência vinda do gerador de função, o comparador montado fornece a soma dos dois sinais. O dispositivo AD630, apesar de sua simplicidade e baixo custo, tem se mostrado utilizável, quando é possível modular o sinal, com o objetivo de extrair o sinal mesmo na presença de um ruído forte, que por mais que não seja nosso caso, é interessante prever essas situações, pois como dispositivo portátil pode passar por situações não ideais. Para as simulações foi usado o transistor para simular o efeito do detector. O sinal é amplificado pelo amplificador operacional, tendo um filtro de ruído branco. O filtro baixa é fixado para uma frequência de corte, ainda não definida, a fim de evitar ruídos gerados por interferências externas ou até internas. Há além do filtro direto, diversos conjuntos que ajudam a deixar o sinal o mais puro possível, capacitores e resistores estão devidamente posicionados para isso.

Figura 26 - Esquemático do Lock in

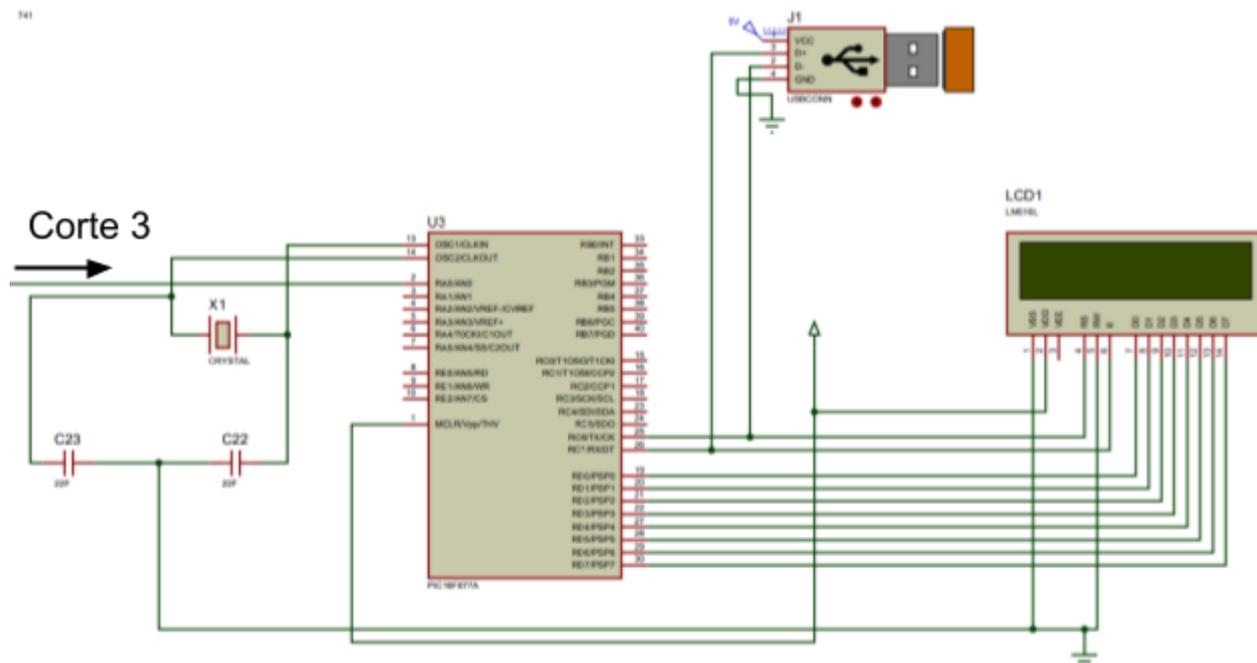


Fonte: Autor, 2021.

A parte de processamento de dados será feita pelo microcontrolador PIC 16F877A. O microcontrolador deve ser programado com a opção FIFO (first in - first out) para o gerenciamento das informações recebidas, os dados podem ser exibidos no display ou enviados por via USB para dispositivo conectado via protocolo TCP/IP. O dispositivo terá um IP fixo para comunicação com o dispositivo selecionado.

Além de armazenamento dos dados que pode ser enviado para o ambiente externo, como já dito, o dispositivo apresenta o resultado do processamento do lock in no display, para que o operador tenha o resultado da detecção de maneira simultânea após a análise. Será feito o *upload* do cálculo do método de detecção via os dados obtidos pelo PIC, assim o dispositivo pode operar em lugares mesmo sem acesso a computadores ou dispositivos de comunicação externos. Ainda, para operação em ambientes externos o dispositivo pode ser conectado ao celular do operador para exportar os dados.

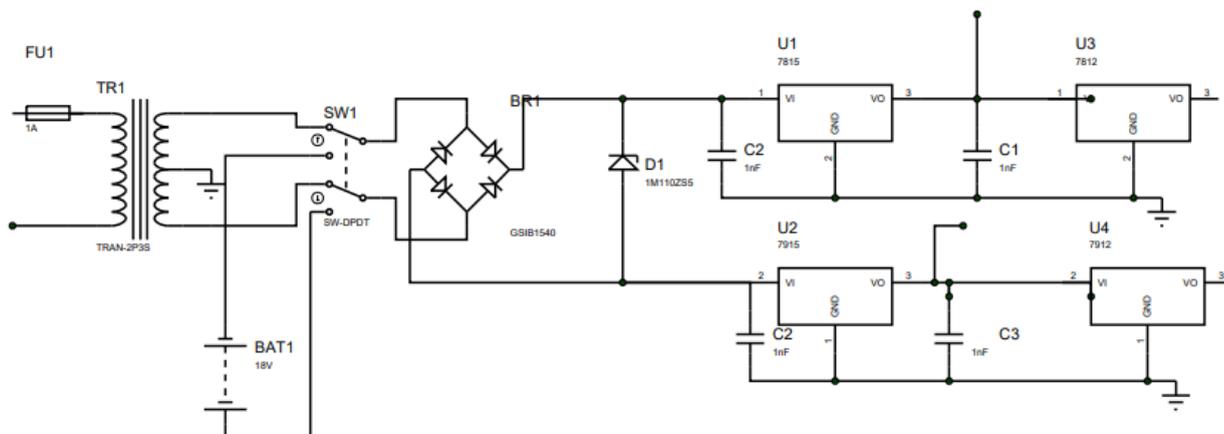
Figura 27 - Esquemático da parte de gerenciamento de dados



Fonte: Autor, 2021.

A parte de potência é selecionável e o equipamento pode ser alimentado por tensão elétrica AC externa, ou via bateria. Contudo, para essa seleção, é preciso abrir o equipamento. Aqui, o dispositivo é muito básico, um modelo padrão de uma fonte de alimentação, acrescido de uma chave seletora para a bateria. A fim de não poluir a visualização, as ligações de alimentação estão representadas com a simbologia padrão e não com a ligação vinda do ponto original.

Figura 28 - Esquemático da parte de potência do dispositivo.



Fonte: Autor, 2021.

3.4 TESTES DE QUALIDADE

O teste de qualidade sugerido para aferir se o equipamento terá o desempenho esperado e similar ao de bancada é o teste proposto na NBR ISO/IEC 12119:1998 é a denominada de análise comparativa direta.

A análise comparativa direta é basicamente adotar um equipamento como padrão e fazer aferições na amostra usando como correto o resultado encontrado no padrão. No caso do dispositivo proposto, podemos fazer o procedimento mais básico de testes marcados, onde já se sabe o resultado esperado. Contudo, a ideia da análise comparativa direta serve para determinar o limite inferior de detecção do equipamento, se mantém o mesmo da bancada. Caso não se mantenha o mesmo, será possível determinar a concentração viral mínima necessária para que o produto portátil possa iniciar seu funcionamento com o desempenho esperado.

Outro método para aferir os testes de qualidade é necessário, e assim definir quais são os parâmetros e critérios que serão avaliados na inspeção quando a proposta de produto for viabilizada. Abaixo tem a divisão desses pontos.

Pontos críticos: são aqueles que podem configurar condições perigosas para aqueles que adquirem o produto ou serviço.

Pontos graves: são aqueles que podem gerar falhas ou reduzir a utilidade do produto à utilização em que se destina.

Pontos leves/toleráveis: são aqueles que não reduzem a utilidade do produto ou não influem no seu uso efetivo.

A partir das definições dos parâmetros, determina-se um percentual tolerável de ocorrência para cada um deles, utilizando fichas técnicas como referência para as inspeções. Contudo este método poderá ser melhor determinado quando o produto estiver prototipado.

3.5 PROTEÇÃO INTELECTUAL

Conforme previsto no projeto, ao final do desenvolvimento do produto foi verificada a possibilidade de proteção intelectual do produto. A LEI Nº 9.279, de 14 de maio 1996 estabelece as regras

O registro de Desenho Industrial[25] protege os aspectos ornamentais de um objeto que pode ser reproduzido de forma industrial, tanto a sua forma tridimensional quanto os aspectos bidimensionais, logo é possível proteger via desenho industrial a

proposta de produto. Porém, o registro não se aplica à proteção dos aspectos técnicos, funcionais ou tecnológicos de um produto, nem à proteção de marcas e logotipos. Ele apenas se destina a proteger a aparência de um determinado produto, logo alguma patente precisa ser usada caso seja possível enquadrar o produto dentro as categorias de patentes possíveis. Este processo custa R \$225,00 se feito pelo autor, e custa em torno de R \$2800,00 em escritórios especializados em proteção intelectual. Este preço se refere a documentação e processo burocrático. Para este preço foram buscados escritórios de Porto Alegre.

Para se patentear um produto, é preciso primeiro selecionar em qual patente ele se enquadra. Há duas possibilidades, a patente de inovação e a patente de utilidade.

A proposta de produto pode ser patenteável por patente de inovação[26], caso o produto final atenda aos requisitos de novidade, atividade inventiva e aplicação industrial. O produto precisa ser dotado de atividade inventiva sempre que for avaliado por um técnico no assunto, e não deve decorrer de maneira evidente ou óbvia do estado da técnica. Logo, não é possível enquadrar a proposta de produto aqui, pois claramente ela é referência de diversas outras técnicas reunidas, não gerando nenhuma novidade no estado da arte.

A proposta de produto pode ser patenteável por patente de utilidade[27], sempre que o produto final, para um técnico no assunto, não decorra de maneira comum ou vulgar do estado da técnica. Neste caso, a proposta de produto precisa aplicar algo conhecido em outra função técnica. Logo, a proposta de produto não pode ser patenteável via patente de utilidade, pois não traz mudança de uso do estado da arte.

3.6 GESTÃO DO PROJETO

A gestão do projeto foi feita na plataforma Bitrix24. O controle das atividades com uma fácil visualização e fazendo o controle de tempo para cada tarefa direto na plataforma. Uma grande metodologia para execução de atividades com planejamento no dia a dia.

Para um controle do tempo gasto em cada atividade, ao se iniciar ela, em qualquer dia, é preciso apertar o botão “iniciar execução”, a partir disso é contabilizado o tempo até que seja apertado novamente. O cálculo de tempo total investido, acrescenta nessa equação das questões relacionadas ao custo final do produto proposto.

Figura 29 - Tela de gerenciamento de atividades do bitrix 24.

Template for task #91629 - pendente Alta Prioridade 🔥

★

+ [Adicionar uma lista de verificação](#)

Esta tarefa está no grupo (projeto): Curtir
[Projeto para trabalho de conclusão de curso de bacharel em engenharia física](#)

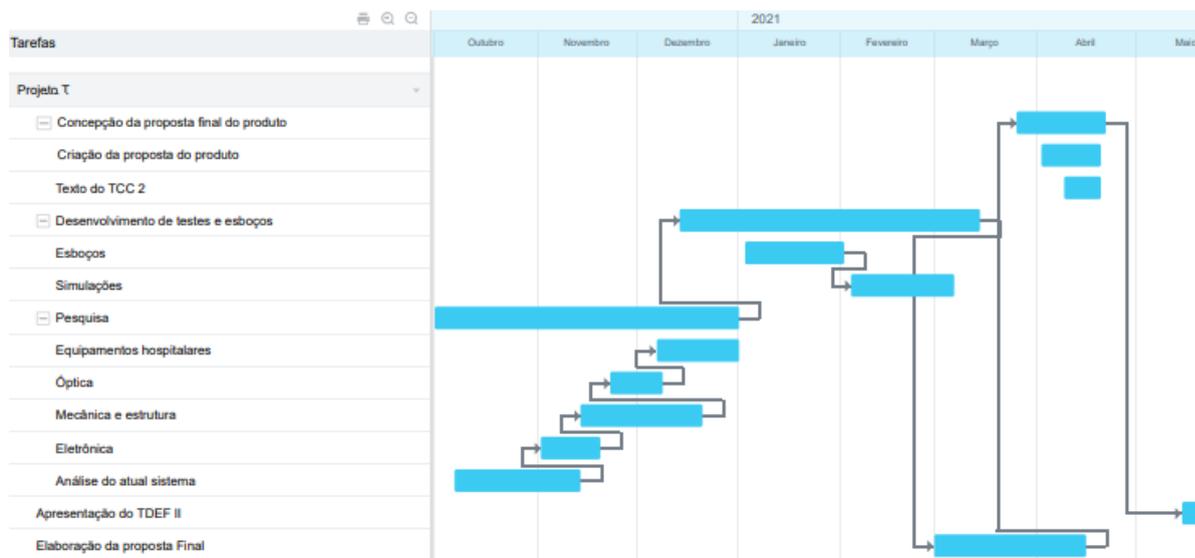
INICIAR EXECUÇÃO
CONCLUIR
MAIS... ▼
EDITAR

Tarefas anteriores

Nome	Data de início	Data de término	Dependência
Concepção da proposta final do produto	26/03/2021 00:00:00	22/04/2021 00:00:00	Concluir-Iniciar

Fonte: Autor, 2021.

Abaixo, segue o diagrama Gantt do projeto executado, contendo a ordem de execução das atividades, suas datas de início e fim, contabilizando as horas gastas. Nessa plataforma ainda seria possível atribuir partes dessas atividades a outras pessoas que estivessem dentro do projeto.

Figura 30 - Diagrama Gantt do projeto executado.

Fonte: Autor, 2021.

Abaixo, segue a tabela das atividades executadas, seguida da carga horária estipulada e da carga horária realmente que foi desprendida para finalizar.

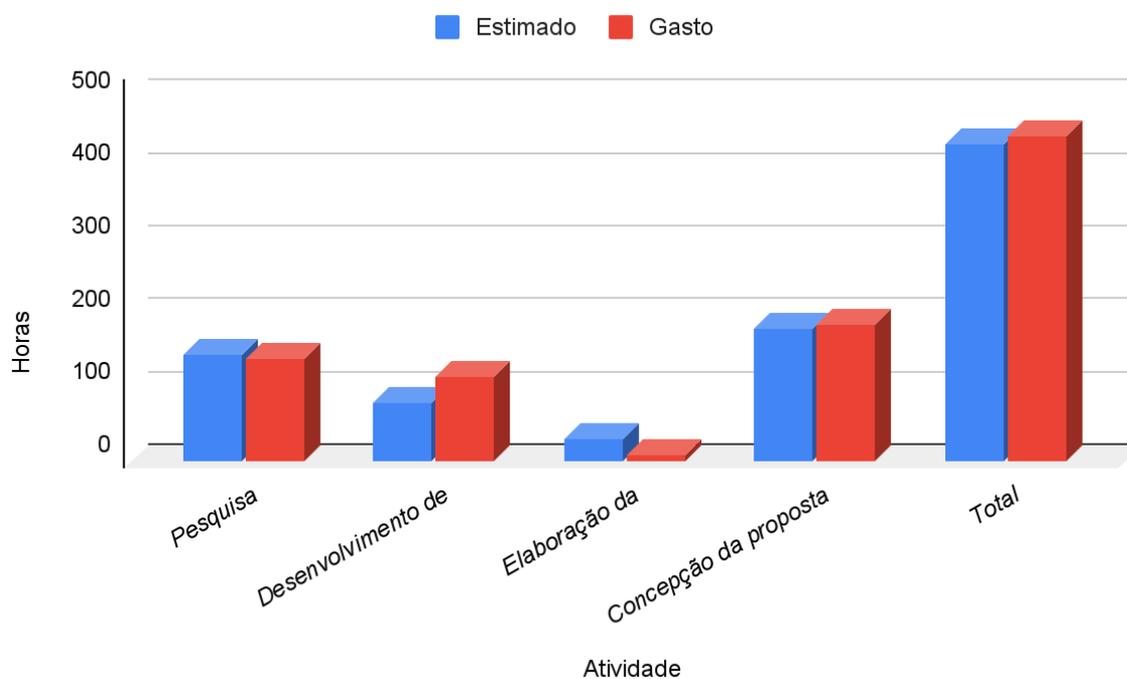
Quadro 1 - Resultado da gestão de tempo do projeto executado

Númeraço das atividades	Atividades	Carga horária estimada	Carga horária gasta
1.	Pesquisa	145h	138h
1.1	Análise do atual sistema	50h	62h
1.2	Óptica	20h	22h
1.3	Eletrônica	20h	9h
1.4	Mecânica e estrutura	20h	27h
1.5	Equipamentos hospitalares	35h	18h
2.	Desenvolvimento de testes e esboços	80h	114h
2.1	Esboços	20h	12h
2.2	Simulações	60h	102h
3.	Elaboração da proposta Final	30h	8h
4.	Concepção da proposta final do produto	180h	186h

4.1	Criação da proposta do produto	120h	112h
4.2	Texto do TCC 2	60h	74h

Fonte: Autor, 2021.

Figura 31 - Gráfico de comparação do tempo planejado e gasto no projeto



Fonte: Autor, 2021.

O quadro de status de conclusão das atividades nos traz, como proposto no planejamento, o resultado final de cada grupo de atividades propostas para a obtenção dos objetivos.

Quadro 2 - Status das atividades planejadas.

N: das atividades	Atividades	Status de conclusão
1.	Pesquisa	6- Parcialmente concluída;
2.	Desenvolvimento de testes e esboços	4- Totalmente concluída no prazo;
3.	Elaboração da proposta Final	4- Totalmente concluída no prazo;
4.	Concepção da proposta final do produto	5- Totalmente concluída fora do prazo;

Fonte: Autor, 2021.

3.7 CUSTOS

Para a execução do custo a fim de se estimar o valor de venda do produto quando fosse criado foi criado a tabela abaixo, contudo não é possível determinar um valor de venda ou de custo oficial para o produto, qualquer valor informado não seria fundamentado. Apenas é possível determinar que o valor de Desenvolvimento do produto é algo em torno de R \$13.885,00, como previsto no texto de planejamento.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a criar uma proposta viável para miniaturização de dispositivo de biossensoriamento baseado na técnica RPS-ME. O projeto para a execução deste objetivo final, foi seguido à risca, conforme proposto. O projeto contém, em detalhes, como se pode desenvolver um produto que viabilize que uma técnica de detecção seja levada a campo e usada nas mais variadas situações. A proposta contém a avaliação técnica de como aferir a qualidade do produto que o projeto planejou e há uma avaliação jurídica para proteção intelectual. Esta proposta apresentou gestão de projeto usando software especializado e mostrando dados de tempo e o planejamento. O erro na gestão de tempo encontrado foi de 2,5%, um erro aceitável dentro das literaturas encontradas[28]; contudo, esse erro deve ser considerado na hora de obtenção dos custos do produto.

A parte de simulações, que estão em anexo e explicadas na seção Modelagem e Eletrônica, são uma comprovação teórica do funcionamento da proposta apresentada. O projeto atende ao que se propôs como projeto de engenharia.

Após a finalização deste trabalho, é possível determinar que o desenvolvimento de um equipamento com grande potencial de realizar testes rápidos com um padrão alto de detecção é plenamente possível para a COVID-19. Assim, fugindo do gargalo presente atualmente entre velocidade ou qualidade de identificação das pessoas contaminadas.

REFERÊNCIAS

[1] Zhai, P.; Guo, J.; Xiang, J.; Zhou, F. Electrochemical Surface Plasmon Resonance Spectroscopy at Bilayered Silver/Gold Films. *J. Phys. Chem. C* 2007, 111, 981–986.

[2] PRESIDENTS OF THE AMERICAN PHYSICAL SOCIETY. Robert W. Wood. (October 2019). Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_W._Wood#Mentions_Wood>. Acesso em: 9 nov. 2020.

[3] D.Pines, "Collective energy losses in solids" *Reviews of moderns Physics*, vol.28, pp.184-198, 1956.

[4] E.A Stern and R.A Ferrell, "surface plasma oscillations of a degenerate electron gas", *physical review*, vol.120, pp. 130-136, 1960.

[5] FÁBIO LOMBARDI MAXIMINO, F.L.M. "Caracterização de Plasmons de Superfície em filmes de metais nobres através de tunelamento ótico". Tese de mestrado (Mestre em ciências) - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo.

[6] Blidar, A., Feier, B., Tertis, M. et al. Electrochemical surface plasmon resonance (EC-SPR) aptasensor for ampicillin detection. *Anal Bioanal Chem* 411, 1053–1065 (2019).

[7] SANTOS, Tiago Gomes dos. Desenvolvimento de catalisadores modificados com Sn suportado em materiais à base de sílica do tipo magadiita para conversão de biomassa em potenciais produtos químicos de interesse industrial. 2020. 128 f. Tese (Doutorado em Química e Biotecnologia) – Instituto de Química e Biotecnologia, Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

[8] CARVALHO, Rosangela M. de; RATH, Susanne; KUBOTA, Lauro T.. SPR: Uma nova ferramenta para biossensores. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 97-104, Jan. 2003.

[9] OLIVEIRA, A. S.; ANDRADE, F. S. *Sistemas embarcados: Hardware e Firmware na prática*. Editora Érica, 2009.

[10] Steve Heath, Embedded Systems Design , Newnes, 2002 ISBN 0-080-47756-9.

[11] Shibu Intro To Embedded Systems 1E . Tata McGraw-Hill Education ISBN 0-070-14589-X.

[12] Hall, Eldon C. (1996). Journey to the Moon: The History of the Apollo Guidance Computer. Reston, Virginia, USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics. p. 196. ISBN 156347185X.

[13] Photo Release – Northrop Grumman/Air Force Complete Guidance Upgrade Installations on Minuteman III ICBMs (NYSE:NOC)». Irconnect.com. 11 de março de 2008. Consultado em 25 de Novembro de 2020.

[14] WIKIWAND. National Electrical Manufacturers Association. 2021 Disponível em: <https://www.wikiwand.com/pt/National_Electrical_Manufacturers_Association>. Acesso em: 29 Jan. 2021.

[15] Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR, Universidade Federal do Paraná Setor de Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica. Elétrica UFPR. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/graduacao/noturno/embarcados.html#>>:

[16] Stephen Brown; Zvonko Vranesic (2005). Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design (em inglês) 2 ed. Dept. of Electrical and Computer Engineering - University of Toronto: McGraw-Hill. ISBN 0-07-246085-7

[17] Hickling, A, Studies in electrode polarisation. Part IV.—The automatic control of the potential of a working electrode. Transactions of the Faraday Society (em inglês). 38 (0): 27–33. ISSN 0014-7672.

[18] Zurich Instruments HF2LI. <http://www.zhinst.com/products/hf2li>. Accessed: 2016-10-21.

[19] Company, Houghton Mifflin Harcourt Publishing. "The American Heritage Dictionary, 2012.

[20] ERIK LOKENSGARD, E.L. Estruturas de injetados. In: ERIK LOKENSGARD, E.L. Plásticos industriais: Teoria e aplicações. [S.l.]: Cengage Learning, [S.a.].

[21] NR 32 - Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde - Riscos Biológicos

[22] NR-09 - AVALIAÇÃO E CONTROLE DAS EXPOSIÇÕES OCUPACIONAIS A AGENTES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS

[23] DANIEL RODA. Válvulas Anti Retorno e Bicos Valvulados. 2018. Disponível em: <<https://www.tudosobreplasticos.com/perifericos/valvulasBicos.asp>>. Acesso em: 14 dez. 2020.

[24] WIKIPÉDIA. Válvula alternadora. 2018. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_alternadora>. Acesso em: 20 dez. 2020.

[25] INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Guia Básico de Desenho Industrial. [N.a.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/desenhos-industriais/guia-basico>>.

[26] INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Solicitar patente de modelo de utilidade. 31/07/2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/servicos/solicitar-patente-de-modelo-de-utilidade>>.

[27] INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Guia Básico. [N.a.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/guia-basico>>.

[28] Slack, Nigel, and Stuart Chambers. Gerenciamento de operações e de processos : princípios e práticas de impacto estratégico, Grupo A - Bookman, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE A - LINK ABERTO PARA A MODELAGEM 3D NO FUSION COM AS SIMULAÇÕES:

- https://drive.google.com/file/d/1M2mjLk_43atXiEYeYuMTXr7MVScqRof-/view?usp=sharing

APÊNDICE B - LINK ABERTO PARA O ESQUEMA ELETRÔNICO DO PROJETO COM SIMULAÇÕES:

- https://drive.google.com/file/d/1MSc36IMq_ihxs8Agq23kXI5b-pXxZN72/view?usp=sharing