

Auscultensor: Uma Exploração no Espaço de Projeto para Ausculta Pulmonar Automática na Fisioterapia Respiratória

Giuliana Oliveira de Mattos
Leon
Universidade Federal do Pampa
Bagé, Brasil
giulianaleon.aluno@unipampa.edu.br

Érico Marcelo Hoff do Amaral
Universidade Federal do Pampa
Bagé, Brasil
ericoamaral@unipampa.edu.br

Julio Saraçol Domingues Júnior
Universidade Federal do Pampa
Bagé, Brasil
juliosaracol@gmail.com

ABSTRACT

Respiratory diseases are one of the main causes of death in the world, being among the global priorities proposed by the World Health Organization (WHO). Pulmonary auscultation is the main method of physical examination of the thorax that leads to a more accurate analysis of pulmonary function to detect respiratory diseases. This procedure is used by its functionality, as it is a non-invasive procedure and also because of the fast detection of abnormalities. Due to Coronavirus Disease (COVID-19), this technique has become essential to determine the severity of the disease, as it makes it possible to identify respiratory changes such as snoring and others problems. Therefore, this work presents a project space exploration to a system capable of performing automatic pulmonary auscultation, through a device capable of capturing the frequency of lung sounds. Many sensor nodes were implemented to evaluate the best solution to fit the auscultation problem. This system uses integration between hardware and software, using a microphone sensor node and a microcontroller board to process the data. The initial experiments performed demonstrated good results and high applicability for the auscultation problem.

KEYWORDS

Pulmonary Auscultation; Lung Sounds; Microcontroller; Respiratory Physiotherapy

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de complicações pulmonares é uma das maiores causas de morbimortalidade, sendo frequente em pacientes internados em Unidades de Terapia Intensiva (UTI), com destaque aos que se apresentam no período pós-operatório, pacientes em uso de ventilação mecânica e com determinada limitação de movimento [1]. Além disso, a recente pandemia de *Coronavirus Disease* (COVID-19) fez com que um grande número de pessoas enfrentassem complicações pulmonares. Dessa forma, a ausculta pulmonar se torna uma das principais técnicas para a detecção destas complicações, além de patologias respiratórias. Tal procedimento é utilizado devido a sua fácil aplicabilidade, por ser um procedimento não invasivo e, também, de rápida detecção de anormalidades fisiológicas. Por ser uma técnica semiológica básica, também se torna um dos primeiros exames a ser realizado por profissionais da área da saúde para detecção e identificação de sons pulmonares e, consequentemente, aferir um diagnóstico clínico e o tratamento decorrente.

Funcional até os dias de hoje, o estetoscópio é a principal ferramenta utilizada na prática de ausculta dos sons pulmonares. A invenção do estetoscópio em 1816 por Laënnec revolucionou a medicina no diagnóstico clínico das doenças pleuropulmonares,

pois possibilitou a ausculta clara dos sons respiratórios e a identificação desses sons de acordo com o comprometimento pulmonar [2]. Desde então, diversas classificações foram elaboradas e os sons pulmonares foram divididos em sons respiratórios normais e sons respiratórios adventícios. Os sons habituais são produzidos pelo fluxo normal do ar que percorre as vias respiratórias. Os sons adventícios são superpostos aos sons normais e são produzidos em decorrência de algum tipo de patologia ou doença pulmonar [3].

Mesmo o estetoscópio sendo o principal instrumento para validação desta técnica, cabe ressaltar que ainda assim ele possui algumas limitações. Usualmente, os estetoscópios amplificam e atenuam seletivamente as bandas de frequência em que se localizam os sons de interesse clínico, sendo que essa amplificação tende a ocorrer abaixo de 112 Hz, com atenuação das frequências acima deste valor [4]. Também, em razão das limitações do sistema auricular humano, principalmente na hora da prática da ausculta, existem algumas limitações no momento de identificar frequências de sons. Logo, este procedimento exige que o examinador tenha uma boa sensibilidade auditiva e é adequado que seja procedido em um ambiente silencioso.

O avanço tecnológico permitiu um melhor entendimento dos sons respiratórios, não apenas quanto a sua caracterização acústica, mas também quanto aos mecanismos fisiopatológicos e os acometimentos pulmonares relacionados [5]. Com isso, inúmeros trabalhos vêm sendo desenvolvidos propondo uma melhora no processo de ausculta pulmonar com o objetivo de desenvolver um sistema único de análise de sons, visando técnicas para a caracterização e o reconhecimento dos diferentes tipos de sons pulmonares.

Embora já existam sistemas que executem a ausculta pulmonar de forma eletrônica, esses sistemas computacionais são caros e não realizam a análise de sons obtidos. Sendo assim, foi constatada a necessidade de encontrar uma forma de desenvolver um sistema por intermédio de um nó sensor de baixo custo, integrado com um estetoscópio, capaz de realizar a técnica de ausculta pulmonar de forma automática e eficiente, tornando-se capaz de exibir resultados mais rápidos e coesos, possibilitando aos profissionais da área da saúde o diagnóstico mais preciso.

Conforme exposto acima, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema hábil para realização da etapa de ausculta pulmonar de forma automatizada, por meio da integração de *hardware* e *software*, sendo um nó sensor acoplado a um estetoscópio, estruturado para capturar a frequência durante a etapa de ausculta pulmonar. Foi realizado uma exploração no espaço de projeto para a implementação do nó sensor considerando diferentes critérios, dentre eles, cita-se baixo custo *versus* qualidade do sinal obtido para a realização da ausculta pulmonar. Neste sentido,

diversos sensores foram investigados na literatura, dentre os vários identificados, foram escolhidos três diferentes implementações. A primeira utilizando o sensor KY-038, a segunda utilizando o módulo GY-MAX9814 e, por último, o microfone INMP441. Assim, os dados obtidos pelos diferentes nós sensores foram aplicados a Transformada Discreta de Fourier (FFT) para conversão dos dados, viabilizando o retorno dos elementos de frequência do som captado. Após, na tela de análise da própria interface de prototipação, é possível que o profissional que está realizando a técnica faça a análise dos resultados obtidos. Na proposta será elaborada também, uma ferramenta que auxilie no treinamento de estudantes da área da saúde, além da análise da ausculta através de técnicas de *machine learning*. Esta solução visa auxiliar os profissionais da área da saúde a obter os resultados mais rápidos e de forma automatizada, além de auxiliar os estudantes em sua aprendizagem.

O presente artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção 2 é apresentada a fundamentação teórica acerca do tema do projeto; na Seção 3 são apresentadas a exploração do espaço do projeto efetuada, e a proposta de solução desenvolvida; na Seção 4 são apresentados os resultados obtidos dos experimentos realizados; e por fim, as Seções 5 e 6 apresentam as conclusões do trabalho e as referências bibliográficas, respectivamente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentados os principais conceitos acerca do projeto, como por exemplo: informática médica e suas aplicações; fisioterapia respiratória; ausculta pulmonar; e por fim, os trabalhos correlatos encontrados na literatura.

2.1 INFORMÁTICA MÉDICA E SUAS APLICAÇÕES

O uso de tecnologias da informação é frequentemente aplicado na área da saúde. Assim, a informática médica surge como uma nova área de pesquisa que combina a tecnologias da informação e medicina com a ciência da computação. De acordo com Shortliffe e Perreault [6], conforme citado por Hogarth [6], a informática médica é o campo científico que trata do armazenamento, recuperação, e uso otimizado da informação biomédica, dados, e conhecimento para a resolução rápida de problemas e tomada de decisões. Ligada à Medicina, o grande desafio da informática médica é compor instrumentos que auxiliem, e que se ajustem a esses profissionais e seus problemas [7]. De acordo com Blum [8], Shortliffe e Perreault [6], conforme citado por Leite e Paes [9], a tecnologia não busca substituir o médico, mas sim auxiliá-lo, compondo uma base organizada de conhecimento técnico e de informações sobre os pacientes, oportunizando o fácil acesso a elas.

A literatura aponta que a computação é baseada em instruções determinísticas e lógicas, desenvolvidas através de procedimentos racionais, nas quais as etapas podem ser bem estabelecidas. O processo de raciocínio humano, aplicado à tomada de decisões, ainda não foi totalmente explicado e compreendido pela ciência [10]. Na Medicina, o processo de tomada de decisão é mais complicado, visto que existe uma quantidade significativa de variáveis a serem analisadas, além da imprevisibilidade do comportamento

biológico humano. Vale ressaltar que apesar de existirem evidências científicas e estatísticas, a medicina não é uma ciência exata.

Neste contexto, a informática médica possui grande potencial para beneficiar médicos e pacientes na concepção de mecanismos menos subjetivos para avaliar o desempenho no tratamento ou ainda na tomada de decisões.

2.2 FISIOTERAPIA RESPIRATÓRIA

A fisioterapia respiratória (FR) é um conjunto de técnicas manuais com o uso de equipamentos, em determinados momentos, que atuam nos processos obstructivos, podendo ser preventivas ou curativas. A FR possui como objetivo mobilizar secreções brônquicas, melhorar a oxigenação sanguínea, diminuir o trabalho respiratório além do tratamento de doenças que atingem o sistema respiratório como asma, bronquite, tuberculose, entre outras. Essas técnicas, denominadas recursos manuais, são assim chamados por serem aplicados sem utilização de quaisquer equipamentos, estes também conhecidos como manobras cinesioterápicas respiratórias ou manobras manuais da fisioterapia respiratória [11].

A FR deve ser aplicada por profissionais experientes, contudo, mesmo sem ser diagnosticado com algum distúrbio respiratório, o paciente pode realizar exercícios com o intuito de aumentar a sua capacidade pulmonar. Os exercícios de FR são indicados, principalmente, para pessoas acima de 60 anos, tendo em vista que seu sistema respiratório já inicia um processo de fragilização.

Com a pandemia de COVID-19 e como consequência da quarentena, inúmeras pessoas abdicaram da realização de atividades físicas, o que na maioria das vezes conduz o indivíduo ao estado de sedentarismo, e assim, reduzindo a sua capacidade pulmonar e aumentando as chances de acumular secreções nos pulmões. Aliado a isso, muitos dos pacientes acometidos pela COVID-19 nas suas formas mais agressivas necessitam de algum tipo de FR, dependendo da gravidade da doença, o paciente pode demorar de três a seis meses para recuperação dos pulmões [12].

A FR participa do programa de reabilitação, objetivando a promoção e maximização da independência funcional do paciente nas atividades de vida diária. Em consequência disso, espera-se a melhora na sua qualidade de vida, aumentando a tolerância ao exercício com a derivação da redução do nível de dispneia [13].

2.3 AUSCULTA PULMONAR

Cientificamente falando, os sons pulmonares são ruídos produzidos durante a respiração (inspiração e expiração) e se originam por meio de vibrações das estruturas pulmonares e das vias aéreas que são transmitidas para a parede torácica. Essa parede é considerada relativamente dura e heterogênea por conter músculos e ossos, o que, para a transmissão de sons, contribui de forma negativa [14].

Para a análise desses sons pulmonares, é necessário utilizar a técnica de ausculta pulmonar. A ausculta pulmonar é uma ferramenta fundamental no processo de avaliação das doenças respiratórias [15]. Esta é caracterizada como o método não invasivo mais importante para detectar patologias e alterações na função pulmonar [16].

Para a realização da técnica, é necessário um ambiente silencioso, de preferência com o tórax desnudo, e seguindo a sequência

conforme ilustra a figura 1, iniciando na parede torácica superior e descendo bilateralmente (para a comparação bilateral) até o sexto espaço intercostal anteriormente, até o décimo posteriormente, e nas laterais do tórax correspondentes à área dos pulmões [17].

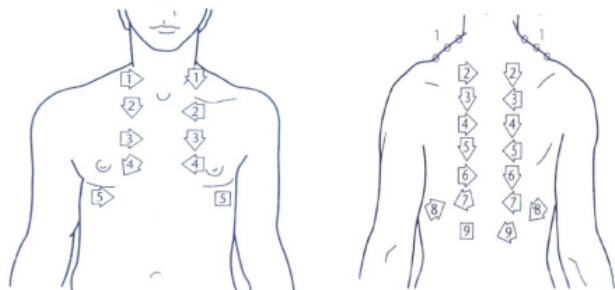


Figura 1: Pontos de ausculta pulmonar sobre o tórax

Com o passar do tempo, diversas classificações foram elaboradas e os sons pulmonares foram divididos em sons respiratórios normais e sons respiratórios adventícios. Conforme a *International Lung Sounds Association (ILSA)*, os sons respiratórios adventícios podem ser divididos em dois grandes tipos de anormalidades: as contínuas e as descontínuas. Os sons adventícios contínuos se subdividem em sibilos, roncos e estridor, sendo os descontínuos subdivididos em estertores finos e grossos.

Atualmente, o uso do estetoscópio em um consultório médico faz parte da rotina do especialista e é o primeiro método utilizado para avaliar doenças respiratórias [3]. Na medida em que a ausculta é um exame rápido, apresentando baixo tempo de resposta, é considerado não invasivo e de baixo custo financeiro, também apresenta inúmeras limitações. Dentre as principais limitações apontadas, cita-se a imprecisão, uma vez que depende da capacidade auditiva do aplicador da técnica, demandando treinamento adequado do profissional, já que se não o possuir, não estará apto para conseguir distinguir os sons pulmonares.

O avanço tecnológico auxilia para minimizar essas limitações, contribuindo com análises acústicas e digitais destes sons. Dessa maneira, serão apresentados na próxima subseção, considerando o escopo do projeto, os trabalhos correlatos encontrados na literatura.

2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Com relação aos trabalhos correlatos, serão apresentadas pesquisas relacionadas à ausculta de sons pulmonares de forma automatizada e caracterização para padronização destes sons com o propósito de embasar a proposta contida no projeto. A metodologia utilizada para o levantamento bibliográfico foi a revisão sistemática, que corresponde a um estudo para reunir literaturas semelhantes, publicadas ou não. Este procedimento ocorreu pela pesquisa em sites acadêmicos, como *Scielo* e *Google Academic*. Baseando-se na proposta da pesquisa, foram definidas as seguintes *strings* de busca: ("ausculta pulmonar" OR "pulmonary auscultation" OR "sons pulmonares" OR "lung sounds" OR "fisioterapia respiratória" OR "respiratory fisioterapia") AND ("automatização" OR "automation" OR "arduino").

Após a coleta dos materiais, foi efetuada uma metanálise com o objetivo de combinar e resumir as conclusões, agrupando e padronizando os dados extraídos. Para os critérios de seleção, utilizou-se o ano de publicação e se o resultado estivesse disponível integralmente. Os critérios utilizados para efetuar esta seleção foram baseadas nas seguintes perguntas, "Este projeto realiza a ausculta pulmonar de forma automática?", "Há a utilização de sensores e placas neste projeto?", "Este projeto utiliza técnicas de *machine learning* para caracterização e padronização para ausculta pulmonar?". Com base nas respostas obtidas, definidas como sim e não, foram então selecionados os trabalhos que mais se assemelham com a proposta em questão.

A solução desenvolvida por Fernandes (2017), é uma proposta de utilização de Sistemas Embarcados de baixo custo para Auscultação e Análise de Sons Pulmonares. O trabalho realizou-se da seguinte forma: a utilização de um sensor de microfone de eletreto conectado a uma placa Arduino Mega. A ideia principal deste trabalho foi utilizar um microfone transmitindo dados para um sistema embarcado, em que o referido sistema deve salvar os dados, processá-los e enviá-los via *Bluetooth* para um dispositivo próximo em tempo real [18].

Já a proposta de Valenga (2009) intitulada como sistema eletrônico para captação de sons respiratórios adventícios em animais submetidos à ventilação mecânica possui o mesmo viés de utilização de microfone de eletreto para captação de sons pulmonares, contudo, este sistema foi projetado para ser introduzido nas vias áreas de animais condicionados a ventilação mecânica, além disso, Valenga (2009) desenvolveu o próprio circuito eletrônico, a fim de satisfazer os requisitos elétricos de funcionamento. Riella (2008), por sua vez, propôs um sistema único de análises de sons para caracterização e reconhecimento dos sons pulmonares adventícios auscultados. Este sistema para classificação automática dos sons pulmonares foi baseado em redes neurais artificiais.

Um dos problemas em comum encontrados em ambos experimentos é a dificuldade de captar estes sons na superfície do tórax, pois a parede torácica é muito espessa. Dessa maneira, Valenga (2009) utilizou filtros de passas-altas e passas-baixas para a digitalização e processamento dos sinais respiratórios. Os filtros de passas-altas eliminam frequências baixas provenientes do sons do coração e musculatura respiratória. Já os filtros de passas-baixas permitem a passagem de frequências baixas sem dificuldade, além de atenuar a amplitude das frequências maiores que a frequência de corte.

Portanto, com base nas soluções descritas acima, foi possível analisar a semelhança com o objetivo do projeto Auscalsensor, como apresenta a tabela 1, que é a utilização de sensores de baixo custo integrados a uma placa de desenvolvimento Arduino, além da caracterização os sons auscultados. Na próxima seção será apresentada a proposta de solução deste trabalho, assim como todas as etapas de exploração do espaço de projeto sobre o nó sensor.

3 AUSCALSENSOR

A finalidade deste projeto é a criação de um sistema, com a união de *hardware* e *software*, para realização da ausculta pulmonar automatizada, atrelado a um sistema de baixo custo, visando uma universalidade de usuários. Para isso, foi desenvolvido um sistema

Tabela 1: Análise comparativa entre os trabalhos correlatos

Proposta	Característica	Semelhanças
Fernandes (2007)	Explorar as diferentes formas de ausculta pulmonar utilizando sistemas embarcados de baixo custo e um microfone eletrônico.	Também desenvolver um sistema embarcado de baixo custo para a ausculta pulmonar. Na proposta será elaborado uma ferramenta que auxilie no treinamento de estudantes da área da saúde, além da análise da ausculta através de técnicas de <i>machine learning</i> .
Valenga (2009)	Desenvolver um instrumento portátil para captação de sons respiratórios de maneira não invasiva, a partir das vias áreas, em animais condicionados à ventilação mecânica	Também desenvolver um instrumento portátil para captação de sons respiratórios, contudo, sem a introdução pelas vias áreas do objeto no corpo, além de realizar o reconhecimento dos sons.
Riella (2008)	Investigar os métodos para detecção, caracterização e reconhecimento automático de sons adventícios nos sons pulmonares já gravados digitalmente.	Também realizar a detecção, caracterização e reconhecimento dos sons pulmonares, porém em tempo real.

que realiza a captação e análise dos sons pulmonares com o objetivo de auxiliar os profissionais da área da saúde na aplicação da técnica em pacientes.

A arquitetura do sistema, bem como a união de *hardware* e *software* são apresentados na figura 2. Sendo assim, a proposta segue o fluxo de efetuar a coleta de dados por meio de um nó sensor de microfone. Este sensor foi acoplado dentro de um estetoscópio para que haja uma maior captação sonora. Em seguida, esse sensor foi integrado a uma plataforma de *hardware* com microcontrolador, na qual recebe todos os dados advindos do sensor e aplicando a Transformada Rápida de Fourier (FFT), que consiste em um algoritmo de conversão de um sinal em componentes espectrais individuais, fornecendo informações de frequência sobre o sinal, sendo este um método de medição importante entre áudios e acústica, para assim enviá-los ao computador. Com a captura dos dados realizada, é possível que sejam extraídas os sinais de frequências dos sons. Logo após a coleta de dados, é viável que ocorra a análise destes sinais auscultados em tempo real e, concomitantemente a isso, por meio de gráficos gerados, realizar a análise da amplitude sonora.

Para o desenvolvimento de projetos computacionais que envolvam *software*, é preciso seguir uma série de práticas e passos

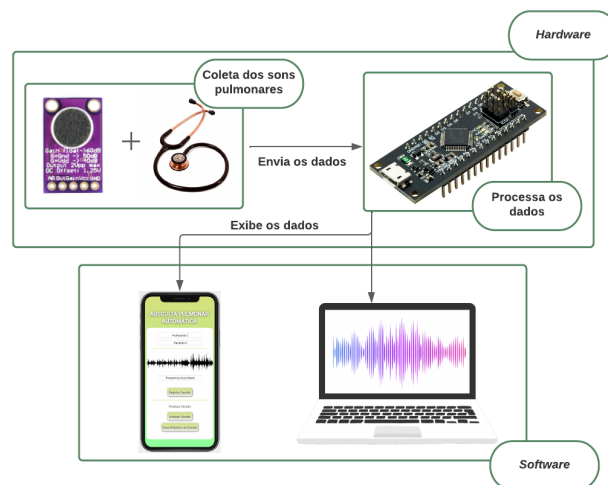


Figura 2: Arquitetura do sistema.

bem definidos, conhecidos como processos de *software*. Sendo assim, como metodologia de desenvolvimento e especificação de modelo de trabalho, utilizou-se o modelo em cascata.

O modelo cascata é sequencial, ou seja, o processo é visto como fluido constante para frente. Este modelo é dividido em cinco etapas: levantamento de requisitos, projeto, implementação, realização dos testes e manutenção do sistema. Optou-se por esse modelo pela sua funcionalidade, tendo em vista que os requisitos do projeto são bem definidos e compreendidos. No modelo mencionado, é primordial que as atividades de processos contêm a especificação do desenvolvimento, sua validação e evolução. Logo, todo processo é qualificado como uma fase diversa: primeiro especificam-se os requisitos, em seguida sucede-se o projeto, após acontecem os testes e, por fim, ocorre a manutenção do sistema.

Dessa forma, a definição da metodologia foi efetuada através dos aspectos contidos nessa pesquisa. Quanto aos requisitos estabelecidos para a elaboração do projeto, é possível observar que são assimilados de maneira simples e objetiva. Igualmente, o desenvolvimento das etapas são elaboradas de forma sistemática, ou seja, regrada, já que para alcançar a solução, existem diversas etapas a serem desenvolvidas e aperfeiçoadas.

3.1 MODELAGEM

A modelagem do projeto foi concebida a partir da definição do problema de pesquisa, sendo este a pretensão da construção de um sistema capaz de realizar ausculta pulmonar automática para auxiliar os profissionais da área da saúde. Além disso, existe a demanda para que a ferramenta auxilie no treinamento de estudantes da área da saúde e, também, sirva para análise da ausculta através de técnicas de *machine learning*. Considerando a metodologia de desenvolvimento adotada, a primeira etapa foi a execução da elucidação dos requisitos junto aos *stakeholders*, estes que são fisioterapeutas que atuam na área de fisioterapia respiratória em um hospital escola. Dessa forma, essa etapa teve como objetivo

identificar as necessidades que o projeto deveria suprir. Foram estabelecidos três níveis de prioridade para os requisitos, sendo eles: essenciais, importantes e desejáveis. Quanto ao requisito definido como essencial, encontra-se a captura da frequência respiratória do paciente. Já os requisitos definidos como importantes, comportam a análise dos sons capturados, a possibilidade de verificar o histórico do paciente e o registro da sessão atual com dados do paciente e do fisioterapeuta.

Com a definição dos requisitos elaborada, o próximo passo, sucedeu-se pelo estudo das ferramentas que poderiam ser utilizadas para o desenvolvimento do trabalho com base nos trabalhos correlatos. Essas ferramentas foram sensores, placas, módulos e demais aparatos que se mostrassem pertinentes ao objetivo do projeto. A partir de então, evidencia-se a oportunidade de exploração do espaço de projeto do nó sensor descrita na próxima subseção.

3.1.1 NÓ SENSORES. Durante o planejamento, trabalhou-se com três tipos de sensores de microfone e três tipos de placas com microcontroladores para que fossem analisadas a melhor configuração e, a partir disso, definido qual sensor e placa atenderiam às demandas provenientes para o desenvolvimento do projeto. O critério para escolha dos sensores foi com base em trabalhos encontrados na literatura e, também, conforme as suas configurações. Esta exploração deu-se pela necessidade de solucionar o problema encontrado em projetos anteriores, de um nó sensor de baixo custo que captasse baixas frequências sonoras pulmonares. Deste modo, foram escolhidos estes sensores: sensor KY-038, módulo GY-MAX9814 e microfone INMP441, e placas: placa Arduino Mega2560, placa ESP32 e módulo de desenvolvimento com SAMD21.

A construção do primeiro protótipo aconteceu da seguinte forma: o sensor KY-038, que é um pequeno microfone eletrônico composto por um chip LM393, um trimpot para ajuste de sensibilidade do som e um microfone de eletreto, foi acoplado dentro de um estetoscópio, como ilustrado na figura 3. Em vista disso, o referido sensor foi integrado em uma plataforma de *hardware* com microcontrolador (Arduino Mega2560), o qual recebe todos os dados advindos do sensor. Com a captura dos dados já realizada, foi necessário extrair a frequência dos sons, dessa maneira é viável a aplicação da FFT.

O segundo protótipo deu-se da utilização do módulo GY-MAX9814, que possui um microfone de eletreto e um amplificador MAX9814, que agem em conformidade com a onda sonora. O sensor foi acoplado numa cápsula de plástico, que possui um tubo de condução ligando-o diretamente à campânula do estetoscópio, como a finalidade de captar o som advindo do estetoscópio, como ilustrado na figura 4. Da mesma forma que o primeiro, após a coleta dos dados, foi aplicado a FFT.

Por fim, para o último protótipo utilizou-se um microfone INMP441, que trata-se de um microfone omnidirecional de alto desempenho e possui interface de comunicação I2S - padrão de barramento serial utilizado para conexão de dispositivos com áudio digital. Logo após, foi conectado em um modelo de estetoscópio, cujo diafragma permite ser desmembrado da campânula, como elucidado pela figura 5.

Este sensor pode ser utilizado em uma placa de desenvolvimento com microcontrolador denominado EPS32 e, também, em um módulo de desenvolvimento com microcontrolador SAMD21.

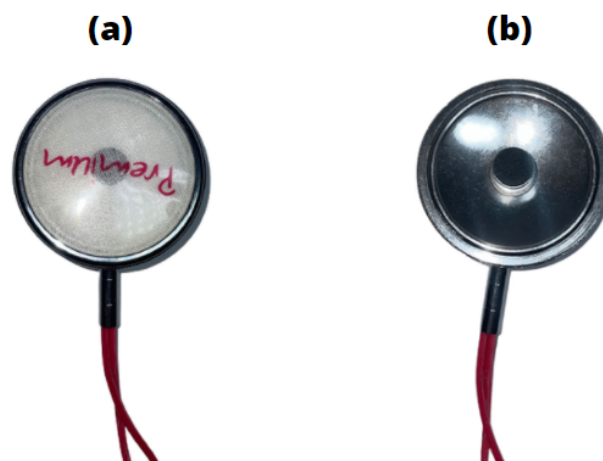


Figura 3: Sensor KY-038 acoplado a um estetoscópio. (a) Com o diafragma (b) Sem o diafragma.



Figura 4: Sensor GY-MAX9814 conectado ao estetoscópio.



Figura 5: Sensor INMP441 conectado ao estetoscópio.

Da mesma forma, é aplicada a FFT para obtenção da frequência sonora, quando conectado somente ao ESP32. Já quando conectado ao módulo com SAMD21, é empregada a biblioteca *ArduinoSound*, em que fornece uma maneira mais rápida e simples para processar a análise de dados de áudio utilizando barramento I2S.

Vale ressaltar que todos os sensores foram testados com sons artificiais disponibilizados em *websites*, nos quais permitiram esta-belecer frequências para tais.

Após a coleta destes sons pelos sensores de cada protótipo separadamente e efetuada a FFT, quando apresentada a necessidade, foi possível analisar os resultados obtidos, em um primeiro momento, via *Plotter Serial* ou *Monitor Serial* no próprio Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino, como ilustrado na figura 6 e 7.

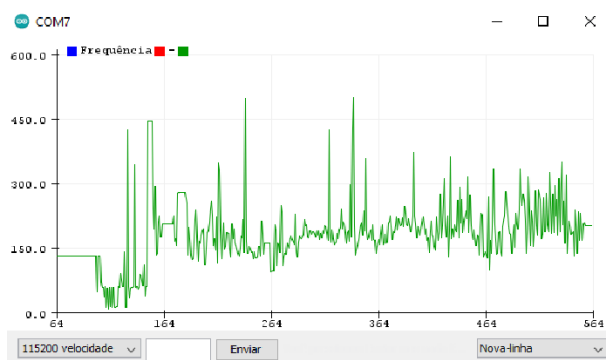


Figura 6: *Plotter Serial*

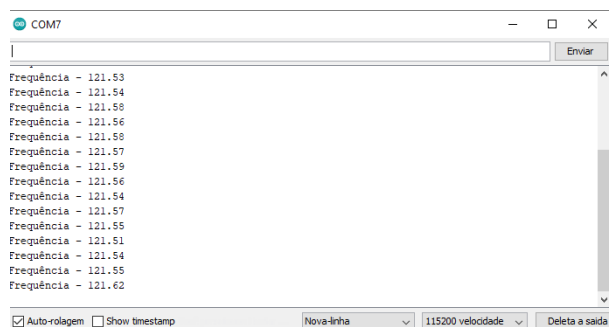


Figura 7: *Monitor Serial*

3.1.2 PROTÓTIPO DA APLICAÇÃO. Com a modelagem dos protótipos de nó sensor do projeto estabelecidos, o próximo passo foi a construção do modelo do *software* do sistema. Na figura 8, é possível analisar a prototipação de uma das telas de início da aplicação feito no programa *Justinmind*.

A linguagem escolhida para o desenvolvimento do aplicativo móvel foi o *Flutter*. O *Flutter* é um *framework* que possibilita a criação de aplicativos *mobile*, *web* e *desktop*. A linguagem de programação base do *Flutter* é o *Dart* que utiliza a sintaxe *C-style* como o *JavaScript*. Já os dados da aplicação, como o cadastro de usuários e de sessões, serão armazenados na plataforma *MySQL*.

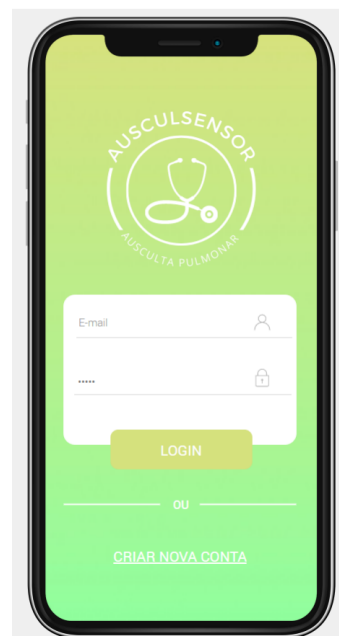


Figura 8: Exemplo da prototipação da tela inicial

O profissional de fisioterapia poderá realizar o seu cadastro e o cadastro do paciente, além de acompanhar a evolução do enfermo pelo sistema. O cadastro contemplará informações como nome, data de nascimento e histórico de saúde de cada usuário. Quando selecionado iniciar sessão, o profissional deve informar seu nome e o nome do seu paciente, que estarão registrados em um banco de dados. Como dito anteriormente, os três modelos de protótipo representam três diferentes arquiteturas, como ilustra as figuras 9, 10 e 11

Conforme os requisitos levantados, o sistema contará com uma análise de sessão, ou seja, será informado o tipo de som auscultado, em concordância com a classificação da ISLA. Ademais, serão efetuadas telas para cada ação do usuário, com o propósito de fornecer um sistema intuitivo e de fácil manuseio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados testes que abordam o funcionamento específico de cada componente do *hardware*, ou seja, todos os sensores de microfones foram testados separadamente, seguindo o mesmo plano de teste. Este plano consiste em que os sensores verifiquem diferentes tipos de frequências pré-estabelecidas para que assim sejam analisados os resultados de cada um. Vale ressaltar que o microfone ideal para o projeto deve realizar a captação de frequência sonora entre 40 Hz e 1000 Hz, conforme relatado na literatura.

O primeiro sensor testado foi o sensor de som KY-038, este que possui um microfone de eletreto em sua extremidade, além de um custo financeiro mais baixo que o convencional. Fator este que é essencial ao projeto, todavia, sua captação sonora ficou entre 80 Hz e 1000Hz, tornando-o ineficaz na solução do projeto.

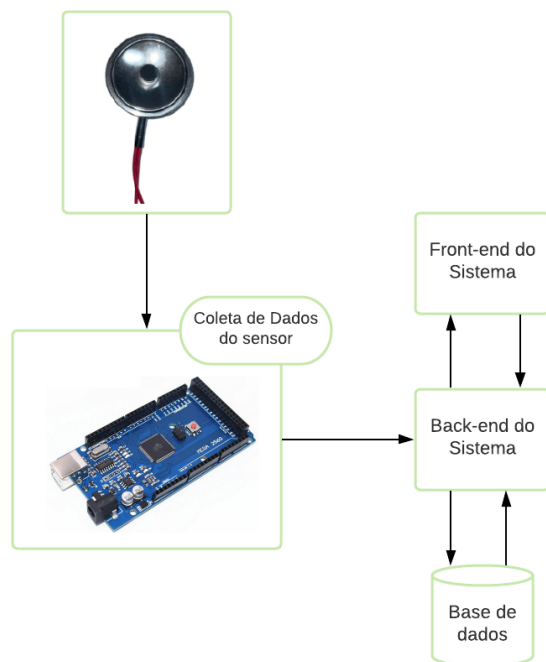


Figura 9: Arquitetura da proposta utilizando o sensor KY-038.

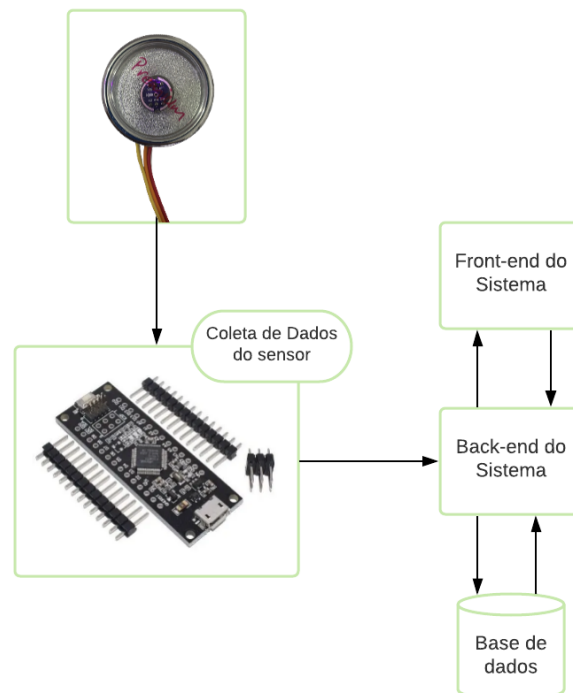


Figura 11: Arquitetura da proposta utilizando o microfone INMP441.

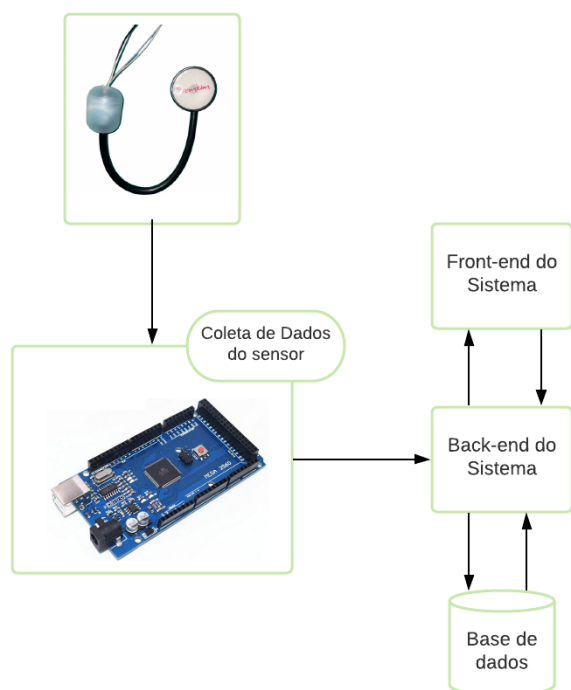


Figura 10: Arquitetura da proposta utilizando o módulo GY-MAX9814.

Em seguida, o outro sensor testado foi o módulo amplificador GY-MAX9814, o qual possui um microfone de eletreto em sua superfície e um amplificador MAX9814. Vale ressaltar que o microfone de eletreto possui baixo custo e uma boa sensibilidade para captação sonora do ambiente. O referido sensor também possui um controle de ganho automático (AGC), entretanto, o módulo não se mostrou eficaz na captação sonora para sons abaixo de 70 Hz, mesmo utilizando o AGC e seu amplificador.

Por fim, foram realizados os testes no microfone INMP441 de alto desempenho. Este microfone possui o fato de ser omnidirecional, isso significa que capta som em todas as direções, além de possuir um conversor analógico para digital e um filtro *antialiasing*, o qual permite a passagem de todas as frequências corretas, descartando as indesejadas. Para realização do teste com este sensor foi utilizada a placa ESP32, junto com a comunicação I2S, dessa forma, tornando viável a conclusão de que o sensor possui uma boa captação para sons de baixa frequência.

Na tabela 2, foi elaborada uma análise comparativa entre esses três tipos de sensores, salientando os prós e contras de cada modelo. Para proceder com essa análise, utilizou-se sons artificiais com frequências pré-definidas pelo usuário.

Os sons pulmonares auscultados possuem sinais de frequências entre 40 Hz e 1000 Hz, desta maneira, os sensores KY-038 e o módulo GY-MAX9814 não seriam uma escolha correta por não captar frequências abaixo de 70 Hz, como dito na tabela 2. Portanto, o sensor que se mostrou mais eficiente até o momento para captar todos os espectros de frequências citados pela literatura e,

consequentemente, escolhido para a prototipação da solução foi o microfone INMP441. Serão realizados testes com um outro modelo de placa mencionado anteriormente, sendo o módulo de desenvolvimento Cortex M0 com microcontrolador SAMD21, pois há uma biblioteca própria para este microcontrolador que realiza análises acústicas. Infelizmente, o módulo ainda encontra-se em etapa de aquisição e entrega, e não foi possível acesso pelos autores para avaliação até a redação deste trabalho.

Em suma, o projeto, que está em andamento, possui plena capacidade de realizar uma ausculta pulmonar automática, sendo admissível afirmar isso com base nos resultados obtidos e nas análises realizadas. Para trabalhos futuros, pretende-se a modelagem do sistema, juntamente ao reconhecimento e padronização dos sons auscultados com Inteligência Artificial (IA), além da realização da experimentação com pacientes para verificar a viabilidade do nó sensor.

Tabela 2: Análise comparativa entre os diferentes tipos de sensores

Sensor	Prós	Contras
KY-038	Sensor com um baixo custo e fácil integração com a placa de desenvolvimento.	Não capta frequências sonoras abaixo de 80 Hz e é muito frágil.
GY-MAX9814	Possui um controle automático de ganho configurável (AGC) que impede a saturação do sinal.	Mesmo possuindo amplificador, não capta frequências sonoras abaixo de 70 Hz.
INMP441	Possui um filtro de passas baixas integrado, além de ter uma ótima captação sonora.	Custo muito elevado e integração apenas com placas que suportem I2S.

5 CONCLUSÕES

A proposta deste trabalho consiste na elaboração de um protótipo de sistema *hardware* integrado com *software* para realização da técnica de ausculta pulmonar automática, visando o objetivo de auxiliar fisioterapeutas nas sessões de fisioterapia respiratória, bem como em outros momentos em que existir a necessidade de verificar a frequência respiratória.

Para realização do projeto, foram escolhidos três tipos de sensores na intenção de implementar diferentes versões da solução, a fim de analisar e concluir qual a melhor configuração para a realização da captura dos sons pulmonares: o sensor microfone KY-038, o módulo microfone GY-MAX9814 e o microfone omnidirecional INMP441.

Como já especificado anteriormente, optou-se pela utilização do sensor microfone INMP441, devido a sua funcionalidade, tendo

em vista que a principal finalidade do projeto é a realização da ausculta pulmonar. Além disso, ainda pretende-se avaliar o uso deste sensor com o módulo de desenvolvimento Cortex M0. Este módulo possui o microcontrolador SAMD21 e I2S para áudio, o que é essencial para o desempenho deste sensor. A motivação da futura avaliação deste módulo se deve ao fato que ele possui uma biblioteca própria para análise de áudio e extração de frequência, tendo em vista que o código para FFT possui algumas falhas em um número elevado de amostragens já relatadas em algumas literaturas.

O projeto, que está em desenvolvimento, demonstra-se eficaz no auxílio aos profissionais de fisioterapia na realização da técnica de ausculta pulmonar, mesmo situando-se apenas na fase de testes iniciais. De todo modo, serão realizados mais experimentos da solução, juntamente com os profissionais da área.

Além disso, pretende-se utilizar o reconhecimento e padronização dos sons auscultados com técnicas de *machine learning*, com o objetivo de que o próprio *software* reconheça e informe ao profissional o som que está sendo coletado.

Por fim, para a análise do projeto que está sendo desenvolvido, o link direto para plataforma GitHub é <https://github.com/guilianaleon/TCC1>.

6 AGRADECIMENTOS

Agradeço aos profissionais de fisioterapia do Hospital Universitário da Urcamp Doutor Mário Araújo (HU) e a UNIMED-Região da Campanha pela disponibilidade e pelo auxílio prestado na execução deste projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] L. L. Campanholi. Fundamentos e práticas da fisioterapia. 2018.
- [2] A. Roguin. The man behind the stethoscope. 2006.
- [3] S. Lehrer. Entendendo os sons pulmonares. page 174, 2004.
- [4] M. Abella and J. Formolo. Comparison of the acoustic properties of six popular stethoscopes. 1991.
- [5] H. Pasterkamp, S. Kraman, and G. R. Wodika. Respiratory sounds advances beyond the stethoscope. 1997.
- [6] M. Hogarth. *Informática Médica: Um Pouco de História.*, volume 1. Califórnia, 1998.
- [7] E. H. Shortliffe and L. E. Perreault. Medical informatics: Computer applications in health care. page 715, 2000.
- [8] B. I. Blum. Clinical information systems. 1986.
- [9] J. C. Leite and L. R. A. Paes. O uso da informática no processo de tomada de decisão médica: Um estudo de casos em hospitais de cardiologia na cidade de são paulo. 2003.
- [10] S. Pinker. Como a mente funciona. 1998.
- [11] D. Costa. Fisioterapia respiratória básica. 1999.
- [12] I. Luisa. O papel da fisioterapia respiratória durante e depois da covid-19. [urlhttps://saude.abril.com.br/medicina/o-papel-da-fisioterapia-respiratoria-durante-e-depois-da-covid-19/](https://saude.abril.com.br/medicina/o-papel-da-fisioterapia-respiratoria-durante-e-depois-da-covid-19/): :text=2021.
- [13] S. F. Vettorazzi. Implantação e resultados de um programa de reabilitação pulmonar em uma instituição de ensino superior. dissertação (mestrado). 2006.
- [14] V. O. Carvalho and G. E. C. Souza. O estetoscópio e os sons pulmonares: uma revisão da literatura. medicina cultura. 2007.
- [15] R. L. Murphy. In defense of the stethoscope. *respir care*. 2008.
- [16] V. Grossz, A. Dittmar, T. Penzel, F. Schuttler, and P. v. Wichert. The relationship between normal lung sounds, age, and gender. 2000.
- [17] H. Baid. The process of conducting a physical assessment: a nursing perspective. 2006.
- [18] J. T. Fernandes. Using low cost embedded systems for lung sounds auscultation and analysis. dissertação (doutorado). 2017.