

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

Giuliana Oliveira de Mattos Leon¹, Julio Saraçol Domingues Júnior¹,
Érico Marcelo Hoff do Amaral¹

¹Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brazil

{giulianaleon.aluno, juliiodomingues, ericoamaral}@unipampa.edu.br

Abstract. *This study aims to develop a system capable of making automatic pulmonary auscultation on hardware and software integration, using a microphone sensor node to capture respiratory sound data, attached to a stethoscope and a microcontroller board to process the data coming from the sensor. This project aims to assist health professionals in applying the pulmonary auscultation technique, as well as to allow a follow-up of each patient, identifying progress or setbacks.*

Resumo. *Este estudo tem como objetivo desenvolver um sistema capaz de realizar uma ausculta pulmonar automática, por meio da integração de hardware e software, utilizando um nó sensor de microfone para captação de dados dos sons respiratórios acoplado a um estetoscópio e uma placa com microcontrolador para processar os dados advindos do sensor. Este projeto visa auxiliar os profissionais da área da saúde na aplicação da técnica de ausculta pulmonar, bem como permitir um acompanhamento de cada paciente, identificando evoluções ou retrocessos.*

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 e pacientes em uso de ventilação mecânica (VM) [Campanholi 2018]. 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 e de rápida detecção de anormalidades fisiológicas.

Mesmo o estetoscópio sendo o principal instrumento para validação da técnica de ausculta pulmonar, 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 [Abella et al. 1992]. 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. Todavia, 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 [Pasterkamp et al. 2012], e embora já existam sistemas que executem a ausculta pulmonar de forma eletrônica, esses sistemas computacionais são caros e não realizam a análise dos sons obtidos.

Conforme exposto, 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 e amplitude durante a etapa de ausculta pulmonar. Este projeto visa auxiliar os profissionais fisioterapeutas na visualização da frequência e amplitude sonora do som durante a aplicação da técnica de ausculta, como também nas sessões de fisioterapia respiratória para o diagnóstico resolutivo de condições respiratórias. Foi realizado uma exploração no espaço de projeto para a implementação e definição do nó sensor ideal, considerando diferentes critérios, dentre eles, compreende-se o baixo custo *versus* qualidade do sinal obtido para a realização da ausculta pulmonar e para isso, diferentes testes foram realizados com entradas sintéticas para a avaliação funcional de cada placa e sensor.

O presente artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção 2 é apresentada a fundamentação teórica acerca do tema do projeto; na Seção 3 é apresentada 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: ausculta pulmonar e os trabalhos correlatos encontrados na literatura.

A ausculta pulmonar é uma ferramenta fundamental no processo de avaliação das doenças respiratórias [Murphy 2008]. Esta é caracterizada como o método não invasivo mais importante para detectar patologias e alterações na função pulmonar [Grossz et al. 2000]. A técnica é realizada com a ajuda de um estetoscópio, de preferência com o tórax desnudo, 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 [Baid 2006].

A medida em que a ausculta é um exame rápido, considerado não invasivo e de baixo custo financeiro, também apresenta inúmeras limitações. Dentre as principais limitações, 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 contribui para minimizar essas limitações, contribuindo com análises acústicas e digitais destes sons. Dessa maneira, será apresentado na próxima subseção, considerando o escopo do projeto, os trabalhos correlatos encontrados na literatura.

2.1. Trabalhos Correlatos

Nesta seção 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*.

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 sucedeu-se da seguinte forma: foi utilizado um sensor de microfone de eletreto conectado a uma placa de desenvolvimento baseada em microcontrolador 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.

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 aéreas de animais condicionados a ventilação mecânica, além disso, Valenga 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.

Para o reconhecimento de sons pulmonares baseado em técnicas de inteligência computacional, [Naves 2015] propôs classificar os sons auscultados com o objetivo de contribuir para obtenção menos subjetiva de informações sobre o estado clínico de pacientes. Foi desenvolvida a abordagem de classificação dividir para conquistar para sons pulmonares. A técnica empregada foi estatísticas de ordem superior combinadas com métodos de classificação.

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 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 dos 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 anteriormente, 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 um sistema de prototipação de desenvolvimento Arduino, além da caracterização dos 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 proposta deste projeto é a criação de um sistema, com a união de *hardware* e *software*, para realização da ausculta pulmonar automatizada. O termo automatizada entende-se no sentido de obter um sistema de auxílio ao profissional que aplica a técnica, realizando a captura e o armazenamento dos sons (frequência e amplitude) auscultados.

Tabela 1. Análise comparativa entre os trabalhos correlatos

Proposta	Característica	Relação com a proposta
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 de futuramente realizar análise da ausculta por meio 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.
Naves (2015)	Classificar os sons pulmonares em Sons Respiratórios Normais e Sons Respiratórios Adventícios.	Também realizar a classificação dos sons pulmonares, todavia, será utilizado um sistema embarcado de baixo custo para captação e análise dos sons auscultados.

Assim, com a disponibilização de uma interface de apresentação das informações, espera-se facilitar a análise e diagnóstico do profissional de saúde. Além disso, pretende-se desenvolver a solução com baixo custo, e futuramente, criar mecanismos inteligentes de classificação dos sons auscultados.

A solução proposta efetua a coleta de dados por meio de um nó sensor de microfone. O 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) para assim enviá-los ao computador. Com a captura dos dados realizada, é possível que sejam extraídas as frequências dos sons. Logo após a coleta de dados, pode ser possível a realização de uma análise das frequências dos sons auscultados em tempo real pelo fisioterapeuta, por meio de gráficos gerados, onde é possível visualizar as amplitudes sonoras e os picos de frequências.

O próximo passo foi a modelagem da solução, que contempla a modelagem do nó sensor e a modelagem da aplicação e a modelagem do sistema.

3.1. Modelagem

A modelagem do projeto foi realizada a partir da definição do problema de pesquisa. 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 com os *stakeholders*, estes que são fisioterapeutas que atuam na área de fisioterapia respiratória em um hospital escola.

Após a definição dos requisitos, 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, sistemas de prototipações, 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. Modelagem do Nó Sensor

Para a modelagem do nó sensor, foram selecionados três tipos de sensores de microfone e dois tipos de sistemas de prototipações com microcontroladores para que fossem analisadas a melhor configuração e, a partir disso, definido qual sensor e sistema de prototipação atenderiam às demandas provenientes do projeto. O critério para escolha dos sensores foi com base em trabalhos encontrados na literatura e, também, conforme as suas configurações. Deste modo, foram escolhidos estes sensores: sensor KY-038, módulo GY-MAX9814 e microfone INMP441, e sistemas de prototipações: Arduino Mega2560 e módulo de desenvolvimento Cortex M0.

A construção do primeiro protótipo aconteceu da seguinte forma: o sensor KY-038 foi acoplado dentro de um estetoscópio, como ilustrado na Figura 1(a). Em vista disso, o referido sensor foi integrado em uma plataforma de *hardware* com microcontrolador (Arduino Mega2560), que recebe todos os dados advindos do sensor. Com a captura dos dados ocorrendo em tempo real pelo nó sensor, é aplicada em cada amostra 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, onde por fim as frequências são enviadas via comunicação serial ao *smartphone*.

O segundo protótipo adveio 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 à campânula do estetoscópio, com a finalidade de captar o som advindo do estetoscópio, como ilustrado na Figura 1(b). O referido sensor foi conectado e testado em dois sistemas de prototipações separadamente, Arduino Mega 2560 e no módulo de desenvolvimento Cortex M0. Da mesma forma que o primeiro protótipo, é aplicada a FFT em cada amostra de som que advém do nó sensor.

Por fim, para o último protótipo utilizou-se um microfone INMP441, que se trata de um microfone de alto desempenho e possui interface de comunicação I2S - padrão de barramento serial utilizado para conexão de dispositivos com áudio digital. Este sensor foi acoplado em um estetoscópio, como elucidado pela Figura 1(c). Este sensor pode ser utilizado em sistemas de prototipações com microcontrolador SAMD21. Quando co-

nectado a este sistema de prototipação, 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 e FFT.

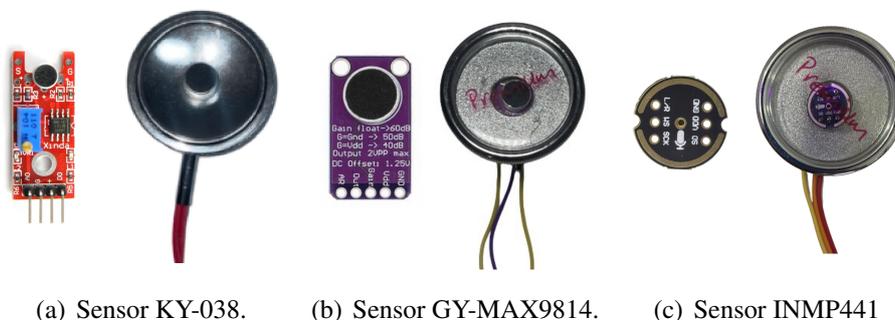


Figura 1. Protótipos dos sensores conectados em estetoscópios.

Após, foi possível analisar os resultados obtidos, em um primeiro momento, via Plotter Serial na própria IDE do Arduino. Todos os sensores foram testados com sons artificiais disponibilizados em *websites*, nos quais permitiram estabelecer entradas sintéticas de frequências específicas e conhecidas para a realização dos testes funcionais.

Para definição de qual sistema de prototipação e sensor seria utilizado no projeto, foram realizados testes de desempenho semelhantes entre todos a fim de verificar qual sensor captaria o som mais limpo e qual sistema de prototipação trataria melhor os resultados. Dessa forma, foram elencados valores de frequência que os sensores deveriam captar, uma faixa entre 40Hz e 1000Hz. Após, apurou-se qual dos sistemas de prototipações melhor tratou os valores recebidos do sensor. Outro critério que levado em consideração e analisado, foi o custo de cada sistema de prototipação e sensor, tendo em vista que este projeto busca desenvolver um sistema de baixo custo.

a) Sensor KY-038 X Arduino Mega2560.

- Tanto o sensor quanto o sistema de prototipação possuem um custo benefício dentro do esperado para o desenvolvimento do projeto, todavia, por ser um sensor de baixo-custo, sua captação sonora para frequências abaixo de 80Hz é desfavorável, tornando-o ineficaz na solução da situação problema do projeto. Um exemplo dessa arquitetura é ilustrada na Figura 2(a).

b) Sensor GY-MAX9814 X Arduino Mega2560.

- Tanto o sensor quanto o sistema de prototipação possuem um custo benefício dentro do esperado para o desenvolvimento do projeto. Este sensor se mostrou eficiente para captar frequências até 60Hz, todavia, o sistema de prototipação Arduino Mega2560 é intermediária, possuindo apenas 8KB de SRAM, tratando os valores de forma mais demorada. Um exemplo dessa arquitetura é ilustrada na Figura 2(b).

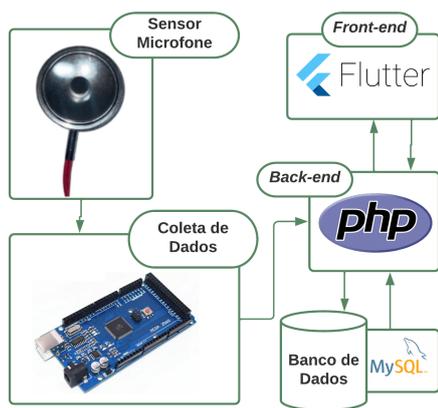
c) Sensor GY-MAX9814 X Módulo de desenvolvimento Cortex M0.

- O sensor possui um custo dentro do esperado, todavia, o sistema de prototipação é relativamente mais cara que um Arduino Mega2560. Por ser um sensor com uma boa captação de sinal, além de possuir um ajuste de ganho, ele elimina a maioria

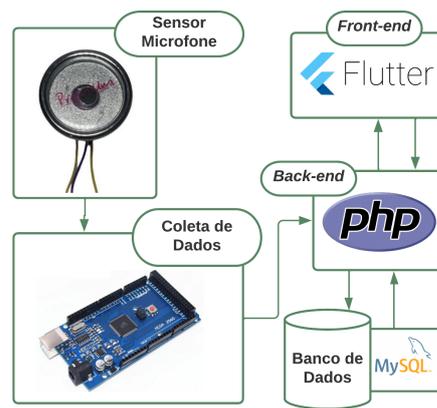
das frequências descartáveis. A união deste sensor com o sistema de prototipação se mostrou eficiente para resolução do problema, tendo em vista que este sistema de prototipação faz o tratamento dos dados de maneira eficaz. Um exemplo dessa arquitetura é ilustrada na Figura 2(c).

d) Sensor INMP441 X Módulo de desenvolvimento Cortex M0.

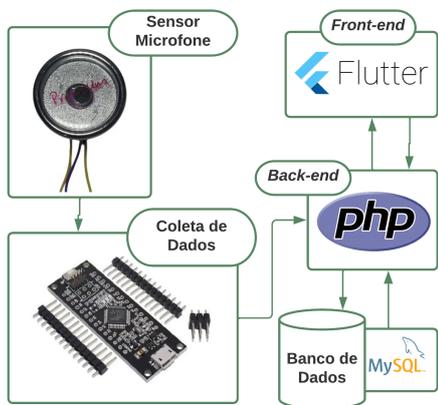
- Tanto este sensor quanto o sistema de prototipação possuem um valor relativamente alto, comparado com as testadas anteriormente. Utilizando a biblioteca *Arduino Sound*, o sensor possui uma boa captação de sinais, porém, por ser uma biblioteca nova, o tratamento dos dados não ocorriam como o esperado, pois em determinados instantes de tempo a entrada do sensor encontrava-se saturada, impossibilitando a transformação dos dados em frequências esperadas. Um exemplo dessa arquitetura é ilustrada na Figura 2(d).



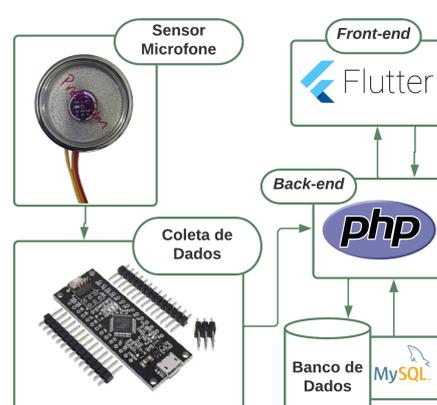
(a) Sensor KY-038



(b) Sensor GY-MAX9814



(c) Sensor GY-MAX9814



(d) Sensor INMP441

Figura 2. Arquiteturas Desenvolvidas

3.1.2. Modelagem da Aplicação

Para modelagem da aplicação foi escolhido o *Flutter* para o desenvolvimento do aplicativo móvel. O *Flutter* é um *framework* que possibilita a criação de aplicativos *mobile*, *web* e *desktop*. Já os dados da aplicação, como o cadastro de usuários e de sessões, são armazenados na plataforma *MySQL*. O profissional de fisioterapia pode realizar o seu cadastro e o cadastro do paciente, além de acompanhar a evolução do enfermo pelo sistema, com o histórico de saúde armazenado de cada usuário. Telas do sistema desenvolvido podem ser visualizadas nas Figura 3(a) e Figura 3(b).

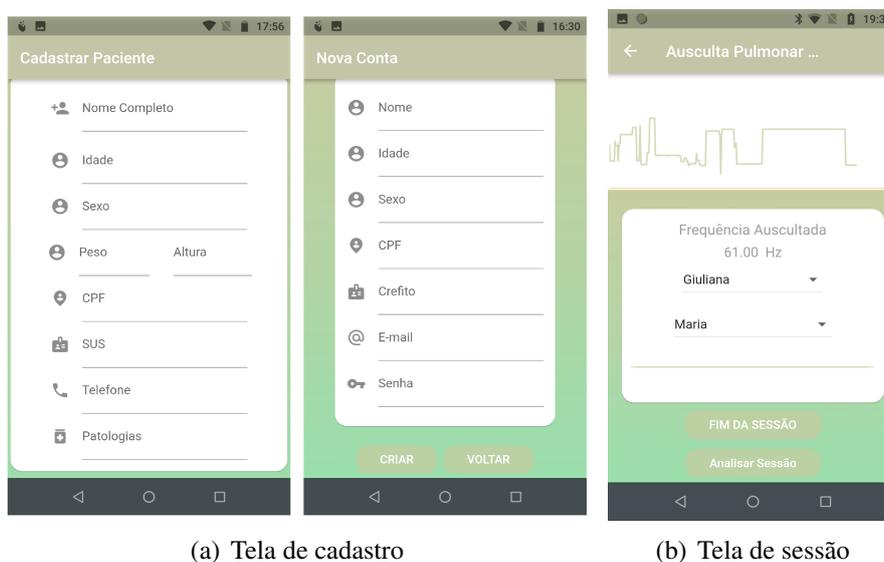


Figura 3. Testes com frequências de sons pulmonares.

3.1.3. Modelagem da Arquitetura do Sistema

Para desenvolver a parte de *hardware* da solução, utilizou-se módulo de desenvolvimento Cortex MO baseado no microcontrolador SAMD21 para o processamento de dados vindos do sensor de som, sendo este o modelo GY-MAX9814. Além da implementação do aplicativo móvel em *Flutter* e do desenvolvimento do nó-sensor, é necessário uma comunicação entre eles para que haja a troca de informações necessárias para o pleno funcionamento da proposta. Desta forma, utilizou-se um módulo *Bluetooth* do tipo HC-05 para conexão via *Bluetooth* com o dispositivo móvel. Assim sendo, é efetuada a comunicação entre o Arduino e o *smartphone*.

Após a aplicação ser inicializada e o usuário inserir os dados que lhe são pedidos, é realizada a conexão *Bluetooth* com o módulo HC-05. Procedida a conexão, o aplicativo já está apto a iniciar a sessão de ausculta pulmonar. Com a modelagem dos requisitos, implementação do nó sensor e aplicação, o próximo passo foi executar os testes funcionais. Desta forma, na próxima seção, serão abordados os testes e resultados parciais do protótipo elaborado.

4. Testes e Resultados Parciais

Para realizar a verificação do sistema, foram efetuados testes que abrangem o funcionamento da coleta de dados pelos sensores, a comunicação entre os componentes de *hardware* e a avaliação do sistema como um todo.

Na etapa de testes do nó sensor, inicialmente realizou-se a configuração a nível de *software* das frequências que o sensor deveria captar, ou seja, frequências entre 40Hz e 1000Hz. A seguir, foi iniciada a etapa de testes com entradas sintéticas. Em um primeiro momento, foi utilizado um gerador de frequências *online* ¹, em que foi determinado um valor de frequência e comparado com o resultado da saída do sensor enquanto captava o som, conforme ilustra a Figura 4. Para essa verificação, utilizou-se uma caixa de som portátil com potência de som 16 watts e volume limitado a 20%.

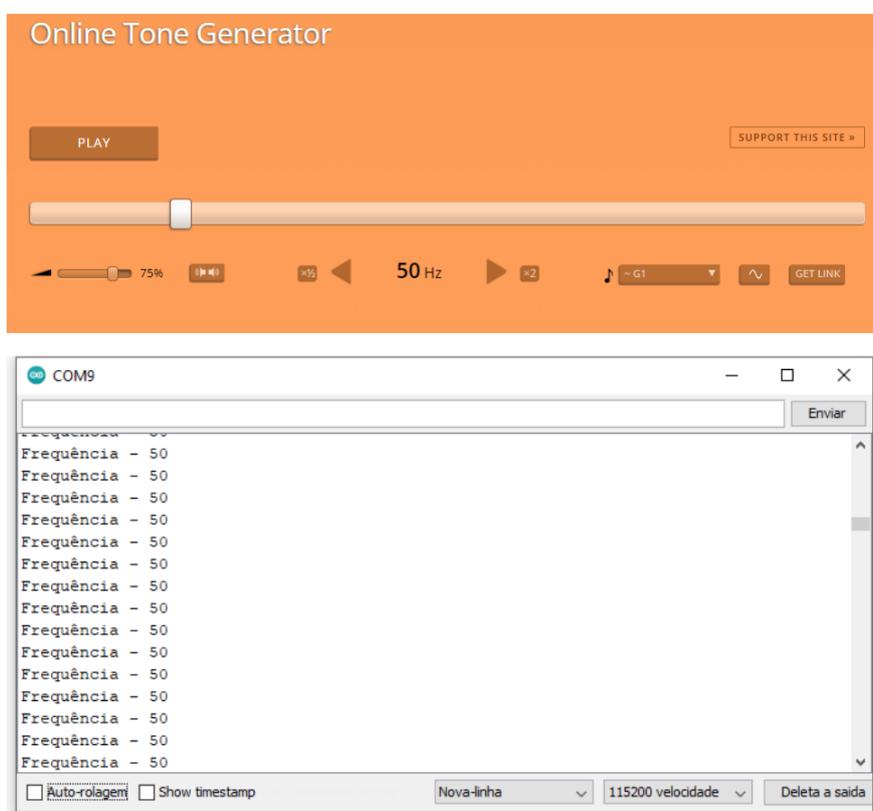


Figura 4. Comparação entre a frequência de entrada e a frequência de saída.

Nessa fase de testes de verificação e coleta dos dados do sensor, os resultados obtidos na captura de dados pelo sensor de som apresentou um funcionamento satisfatório com as entradas sintéticas de frequência. Tendo em vista que a módulo de desenvolvimento possui saídas de 3.3V, foi necessário utilizar outro sistema de prototipação para conexão do VCC em 5V para conectar o sensor de som, o que impacta em uma maior precisão nos resultados capturados em função do *Analog Digital Converter* (ADC). A partir da validação do nó sensor, o próximo passo ocorreu através do teste de comunicação do módulo HC-05 com o *smartphone* e, para isso, foi aplicada a comunicação serial para o envio de informações entre os dispositivos (nó sensor + módulo HC-05 até *smartphone*).

¹Disponível em: <https://www.szynalski.com/tone-generator>

Desenvolvida a comunicação entre o módulo HC-05 e o *Flutter* via porta serial, constatou-se que os valores recebidos não eram apresentados de maneira satisfatória, isto é, as *strings* recebidas eram exibidas antes da leitura completa do valor. Com o propósito de corrigir este erro, foi inserido separadores entre os dados e realizada uma configuração no módulo HC-05 por comandos AT, setando o *baud-rate* correto. Após os testes de validação da comunicação entre o nó sensor e o *smartphone* via *Bluetooth*, foi possível verificar que não está ocorrendo *delay* no recebimento de informações, apresentando os resultados em tempo real na aplicação.

Para a validação da aplicação, foram procedidos testes acerca das funcionalidades do sistema disponíveis na versão atual do projeto. Quanto à primeira versão, é possível realizar o cadastro de pacientes e profissionais, bem como a coleta de sinais vitais, a conexão com o módulo *Bluetooth* para o recebimento de informações e a análise em tempo real das frequências auscultadas durante a aplicação da técnica de ausculta pulmonar.

Após a realização dos testes para a verificação de cada componente que compõem o sistema e do sistema como um todo, a próxima etapa sucedeu-se pela realização de uma sessão com entradas sintéticas de sons pulmonares (já auscultados e digitalizados) disponíveis na plataforma YouTube² e em *websites*, tendo como objetivo verificar se o nó sensor é hábil para captar frequências oscilantes. Estes sons foram reproduzidos em uma caixa de som na qual foi aproximada do nó sensor, com volume fixo de 20%.

Para o teste de operação, utilizou-se duas formas de verificação: a primeira com relação a amplitude sonora captada pelo nó sensor e a segunda com relação ao pico de frequência captado utilizando a FFT para conversão dos dados. Dessa maneira, todos as figuras ilustram:

- a) resposta no domínio da amplitude do *software*;
- b) resposta do nó sensor do domínio da amplitude;
- c) resposta da aplicação no domínio da frequência.

No primeiro experimento foi reproduzido um som genérico considerado som pulmonar normal, em que o sensor captou, em um primeiro momento, a amplitude sonora para verificar se o som estava em conformidade com a onda sonora de entrada. Após, foi efetuada a FFT para obtenção das frequências sonoras. Na Figura 5(a) é possível analisar que o nó sensor foi capaz de captar a onda sonora (Figura 4.II), como também, algumas das frequências dos sons e gerar o gráfico (Figura 4.III), em comparação com a onda sonora do som utilizado (Figura 4.I).

Para o segundo experimento foram empregados ruídos adventícios do tipo roncos. Da mesma maneira que no primeiro experimento, neste também foi captado a onda sonora equivalente à da entrada sintética e, também, realizado a FFT para obtenção das frequências. A Figura 5(b) ilustra como o sensor conseguiu captar as diferentes frequências em paralelo com a onda sonora dos ruídos adventícios, sendo a primeira imagem (Figura 4.b.I) representada pela resposta no domínio da amplitude do *software*, a segunda imagem (Figura 4.b.II) representada pela resposta do nó sensor do domínio da amplitude e terceira imagem (Figura 4.b.III) representada pela resposta da aplicação no domínio da frequência.

²Disponível em: <https://www.youtube.com/channel/UCzEbKuIze4AI1523AWiK4w>

O último experimento foram aplicados ruídos adventícios do tipo sibilos. Neste experimento, foi possível verificar a variância das frequências com relação a onda sonora emitida, como ilustra a Figura 5(c). Essa variância pode ocorrer da utilização de entradas sintéticas combinadas a ruídos da própria caixa de som, gerando essas divergências entre os picos. Apesar do experimento ter ocorrido de forma genérica, de maneira geral, os testes implementados alcançaram resultados satisfatórios.

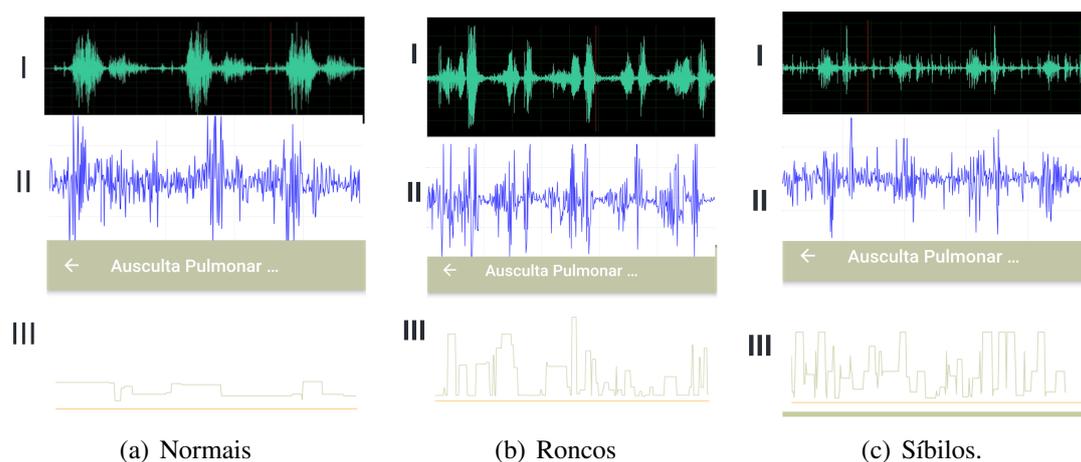


Figura 5. Testes com frequências de sons pulmonares.

Vale evidenciar que ocorrerão testes com acompanhamento dos fisioterapeutas responsáveis para validação da proposta. Ademais, com estes experimentos foi possível verificar que o nó sensor capta frequências em uma margem de 40Hz a 1000Hz, o que torna a solução adequada para realização da ausculta pulmonar, mesmo sendo uma solução de baixo custo.

5. Conclusões

Com o propósito de auxiliar profissionais da saúde nas sessões de fisioterapia respiratória e no diagnóstico resoluto das condições respiratórias do paciente, examinou-se a possibilidade de desenvolver uma solução computacional baseada em sistemas embarcados, pretendendo captar informações durante a técnica de ausculta pulmonar de pacientes enfermos, onde as informações compreensão seriam captadas por um nó sensor e processadas por meio de um *software* para identificação de complicações pulmonares. Dessa forma, a proposta do presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema habilitado para realização de ausculta pulmonar de forma automática com a união de *hardware* e *software*.

Foi desenvolvido a modelagem da arquitetura do nó sensor e, também, a modelagem do sistema. Após, foram realizados testes com todos os sensores e sistemas de prototipações levantados para verificar quais seriam mais adequados para a resolução do problema proposto. Tendo em vista que a principal necessidade do sistema era a captação de frequências compreendidas entre 40Hz e 1000Hz, foram realizados testes com entradas sintéticas de sons pulmonares e definiu-se que seriam utilizados o sensor de som GY-MAX9814 e o módulo de desenvolvimento Cortex M0 para formação do nó-sensor.

Ademais, foram realizados testes de comunicação entre o módulo HC-05 e o *smartphone*. Portanto, após a execução de testes funcionais dos componentes utilizados, realizou-se a integração entre o nó sensor e *smartphone*. O desenvolvimento da aplicação Auscalsensor contemplou a análise da ausculta pulmonar bem como o cadastro de pacientes e profissionais, o armazenamento de informações antes do início da sessão e a análise durante a sessão das frequências auscultadas.

Até o momento da submissão do artigo, em vista do atual cenário pandêmico e protocolos acerca da COVID-19, tornou-se inviável a efetiva implementação dos testes com enfermos pulmonares no hospital universitário Doutor Mário Araújo ou com os estudantes de enfermagem e fisioterapia parceiros da pesquisa, visto que os sons captados e processados dependem diretamente do protótipo nó sensor em contato com o paciente. Entretanto, vale ressaltar que dado as avaliações funcionais efetuadas o sistema apresentou resultados satisfatórios.

Por fim, para trabalhos futuros acerca do projeto, será efetuado a experimentação em campo com pacientes, o que permitirá a criação de um banco de dados com sons pulmonares auscultados para treinamento de estudantes da área da saúde e a exploração de técnicas de *machine learning* para reconhecimento de padrões.

Referências

- Abella, M., Formolo, J., and Penney, D. G. (1992). Comparison of the acoustic properties of six popular stethoscopes. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 91(4):2224–2228.
- Baid, H. (2006). The process of conducting a physical assessment: a nursing perspective. *British journal of nursing (Mark Allen Publishing)*, 15(31):710.
- Campanholi, L. L. (2018). *Fundamentos e Práticas da Fisioterapia*. Atena, 5 edition.
- Fernandes, J. T. (2017). Using low cost embedded systems for lung sounds auscultation and analysis.
- Grossz, V., Dittmar, A., Penzel, T., Schuttler, F., and v. Wichert, P. (2000). The relationship between normal lung sounds, age, and gender. *American journal of respiratory and critical care medicine*, (192,3 Pt 1):905–9.
- Murphy, R. L. (2008). In defense of the stethoscope. *Respiratory care*, 53,3:355–69.
- Naves, R. (2015). Um estudo de reconhecimento de sons pulmonares baseado em técnicas de inteligência computacional.
- Pasterkamp, H., Kraman, S. S., and Wodicka, G. (2012). Respiratory sounds. advances beyond the stethoscope. *Am J Respir Crit Care Med.*, (156).
- Riella, R. J. (2008). Propostas de técnicas para caracterização e classificação automática de sons pulmonares adventícios.
- Valenga, M. H. (2009). Sistema eletrônico para captação de sons respiratórios adventícios em animais submetidos à ventilação mecânica.