

Aquisição, processamento e análise de sinais ECG com Raspberry pi

Arthur campelo- 180116711

Filipe Antunes- 180041762

Resumo. É notório o avanço das tecnologias embarcadas nos dispositivos médicos ao longo dos últimos anos. No que se refere aos equipamentos de diagnósticos, ressalta-se a utilização dos equipamentos que monitoram os sinais vitais como ECG. Esse trabalho busca compreender o funcionamento e aquisição do sinal de eletrocardiograma, assim como o processamento do sinal adquirido e sua visualização de forma lúdica e interativa, condicionando a frequência cardíaca à uma nota musical utilizando-se de microcontroladores como a placa raspberry pi e sensores. Contribuindo para o avanço das tecnologias assistivas e tornando mais acessível esse tipo de diagnóstico.

I. INTRODUÇÃO

O eletrocardiograma é um exame que avalia a atividade elétrica do coração através de eletrodos fixados na pele. Seu objetivo é detectar o ritmo do coração e o número de batimentos por minuto (bpm), consequentemente é possível diagnosticar diversas complicações, como: doenças genéticas, infarto do miocárdio, aumento de cavidades cardíacas, hipertrofia das câmaras cardíacas, distúrbios na condução elétrica do órgão e doenças coronarianas. Além disso, o exame também faz parte do check up de saúde do coração no caso de outras condições presentes, tais como hipertensão, colesterol alto, diabetes e histórico familiar de doença cardíaca, além de ser muito importante para pessoas que iniciaram a prática de atividade física.

No que se refere à estruturação teórica deste trabalho é importante destacar que existe muito material que trata a respeito da leitura do sinal ECG e sua representação gráfica haja vista os materiais referenciados nas bibliografias [3] e [4]. No entanto, não existe muita bibliografia a respeito de outras formas de representação, nem mesmo da utilização de outras ferramentas para sua obtenção, onde a maioria dos trabalhos focam na utilização do arduino. O que levou a utilização da Raspberry neste trabalho foi a sua capacidade de processamento e de armazenamento, em que as possibilidades de tratar os dados advindos do sensor ECG seriam muitas, abrindo caminho para trabalhos futuros como a detecção de doenças relacionadas ao coração através da análise do sinal ECG [2]. Em material disponível na bibliografia [1] deste trabalho é possível notar a utilização de um microcontrolador Raspberry, no

entanto a forma de visualização e utilização dos dados adquiridos pelo sensor ECG se diferem do apresentado por este trabalho. Nota-se ainda, na bibliografia [6] uma das mais diversas opções de utilização que podem contribuir bastante para a melhoria e redução de custos no que se refere a monitoramento de sinais vitais. Em suma, além do que tange a parte de hardware já descrita acima, destaca-se também o material referenciado em [7] que trata a respeito do software puredata utilizado para processar o sinal ECG e transformá-lo em uma saída sonora de acordo com sua frequência.

II. JUSTIFICATIVA

É de grande importância a realização do exame ECG para o diagnóstico de várias doenças e a sua ampla utilização dentro do ambiente hospitalar. No entanto, nem todos os pacientes têm acesso a esse tipo de exame devido ao fato de que os equipamentos capazes de realizar o ECG atualmente disponíveis no mercado são de custo elevado e com diversos problemas de usabilidade. Pesquisas que buscam facilitar, dar agilidade ao diagnóstico e baratear os custos de produção dos equipamentos médicos têm proporcionado grandes descobertas na área e que por conseguinte facilita o trabalho dos profissionais da área de saúde e a segurança dos pacientes.

III. OBJETIVO

Dante do exposto, este projeto tem como objetivo a criação de um sistema capaz de realizar o exame ECG e apresentá-lo de forma mais interativa e usual ao paciente

e ao profissional da saúde que realizará o exame, de forma análoga, busca-se também, diminuir os custos de produção desse equipamento tornando-o mais acessível para o consumidor final.. O que se pretende apresentar com o projeto é uma maneira mais simplificada e lúdica de se entender um sinal de ECG utilizando-se de artifícios diferentes para visualização do sinal como a sua forma sonora e gráfica.

IV. REQUISITOS PARA O PROJETO

Para a aquisição do sinal ECG será necessário a utilização de um módulo ECG capaz de identificar o sinal, amplifica-lo e filtrá-lo, posteriormente esse sinal deve ser interpretado pela raspberry pi, no entanto como o sinal é analógico, deve-se usar um conversor ADC para conectar o módulo ECG com a raspberry pi. Por fim, após ser processado o sinal pelo microcontrolador, ele será enviado para o software puredata, que será capaz de interpretar esse sinal e convertê-lo em música. O último passo será enviar para a saída de áudio da raspberry a saída vinda do software puredata. Abaixo estão relacionados todos os componentes necessários para montagem do circuito:

Lista de matérias	
Quantidade	Componentes
1	Raspberry pi model 3 B+
1	Módulo de pulso cardíaco ECG AD8232
1	Display lcd ou monitor
1	Protoboard
1	Arduino Uno R3

Tabela 1. Lista de componentes.

V. ESPECIFICAÇÕES DOS COMPONENTES

- **Raspberry pi model 3 B+**

Raspberry pi é uma linha de mini-computadores de placa única. Na placa há uma GPU e CPU juntas e outras conexões como USB, HDMI, câmera, entrada P2 e Ethernet.

Existem 4 gerações com algumas versões, no projeto será usado o modelo 3 B + que possui memória RAM de 1 GB, com 4 Núcleos e clock de 1.2 GHz. Lançado em 2018 por 35 dólares.



Figura 1. Placa Raspberry pi modelo B+.

- **Módulo pulso cardíaco com eletrodos AD8232**

Este sensor é utilizado para medição da atividade elétrica do coração, esta atividade pode ser mapeada como um eletrocardiograma, fornecendo os dados através de leituras analógicas.

Os sinais analógicos do coração contém ruídos e necessitam ser amplificados, no módulo possui um circuito que irá filtrar e amplificar os pequenos sinais.

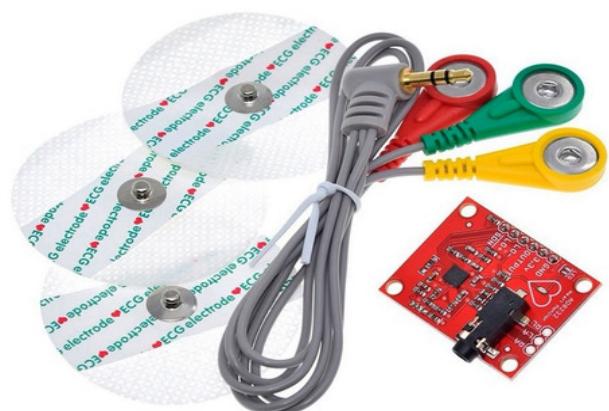


Figura 2. Sensor ECG AD8232

- **Display LCD ou monitor**

Para visualização do sistema operacional e dos gráficos pode-se utilizar um tela LCD para raspberry pi de 3.5 polegadas que conecta na pinagem ou um monitor com conexão HDMI.

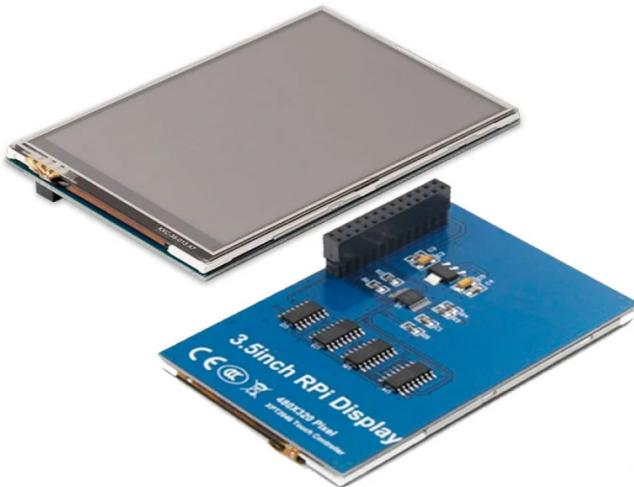


Figura 3. Display LCD RPI 3.5 polegadas.

• Arduino Uno R3

Para Raspberry receber os sinais analógicos do sensor ECG será necessário a utilização do arduino uno para receber os dados analógicos do sensor ECG e convertê-los em dados digitais para enviá-los para a raspberry processá-los.



Figura 4. Arduino Uno R3.

VI. ESPECIFICAÇÕES DE SOFTWARE

Dois principais recursos serão utilizados nesse projeto para desenvolver o software do sistema que será capaz de ler um dado de sinal ECG e transformá-lo em uma saída sonora. A primeira ferramenta é o arduino ide, essa interface de desenvolvimento é utilizada pelo arduino para poder compilar e gravar os códigos executáveis na

própria placa e pode ser baixada em qualquer sistema operacional. A segunda ferramenta é o software PureData, esse software é capaz de processar e reproduzir sinais sonoros. Muito utilizado por músicos, o software PureData será utilizado no projeto para fazer a conversão do sinal digital de ECG que chega na placa raspberry e o transforma em uma saída sonora de acordo com a sua frequência. Além disso, o código utilizado pela raspberry para a leitura dos dados advindos do arduino e posteriormente salvos e enviados para o software puredata é desenvolvido em linguagem python e possibilita o recebimento desses dados de forma serial.

VII. METODOLOGIA

Para a realização do projeto, o circuito deve seguir o seguinte fluxograma de montagem e conexão entre os seus componentes:

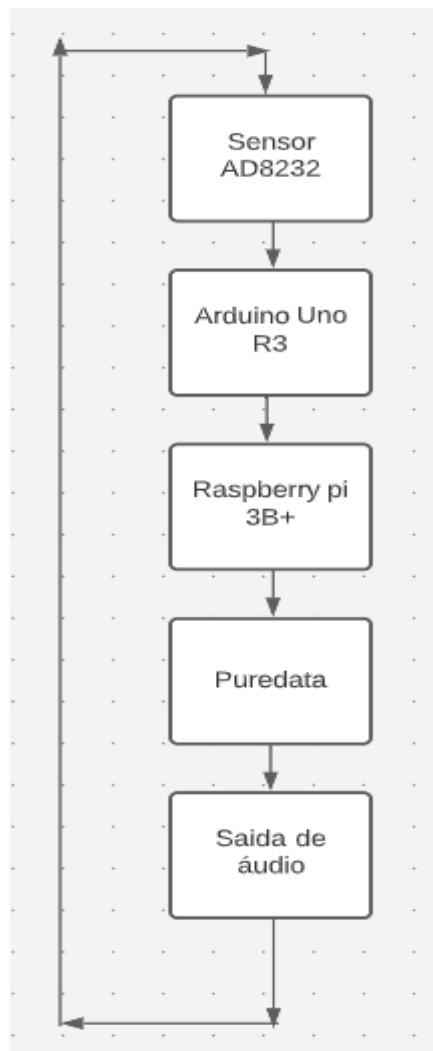


Figura 5. Fluxograma representativo da conexão e montagem do projeto.

A montagem do circuito foi realizada da maneira como descreve a figura 5, em que conecta-se o módulo ECG AD8232 com a protoboard, logo utiliza-se os pinos de saída do módulo para conectar-se com o arduino uno R3 para converter o sinal analógico advindo do módulo e transformá-lo em um sinal digital. Posteriormente utiliza-se a saída do arduino para conectar-se de forma serial com a Raspberry pi. Em seguida conecta-se também à saída de áudio da placa microcontroladora um alto falante ou um monitor de vídeo que possua saída de áudio integrada.

Para a realização do projeto existem dois pontos principais de atenção e que são considerados críticos, sendo o primeiro deles a conexão entre os componentes e a melhor forma de se fazer a aquisição do sinal ECG, por mais que os equipamentos selecionados para essa tarefa possuam boas especificações e filtros, existem alguns obstáculos para a leitura correta desse sinal como a interferência de artefatos na leitura do sinal, a movimentação do paciente e o principal de todos a elaboração de um código em linguagem C capaz de traduzir todas essas informações e mostrá-las no display LCD. O segundo ponto crítico e de maior dificuldade nesse projeto é o processamento do sinal digital (já convertido pelo arduino e enviado para a raspberry) pelo software Puredata, como a saída deve ser em forma sonora, deve-se fazer a conversão da escala de frequência dos batimentos cardíacos na escala de frequência das notas musicais e posteriormente, garantir que esses cálculos estão corretos e enviá-los para a saída de áudio da raspberry pi.

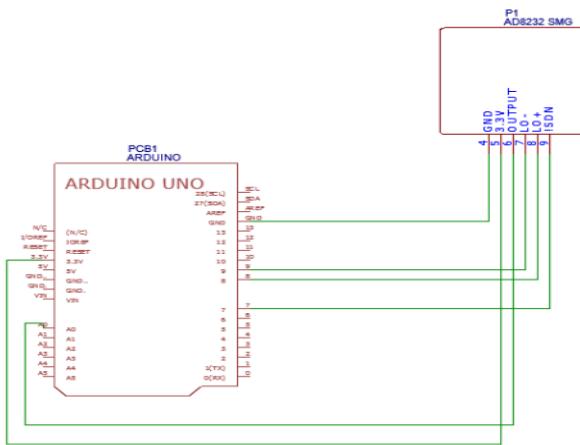


Figura 6. Representação da conexão e pinagem entre o sensor ad8232 e o arduino uno R3.

Após a montagem do circuito da figura 6, é necessário desenvolver o código na interface do arduino IDE.

(disponível em anexo) para habilitar a aquisição e demonstração do sinal ECG.

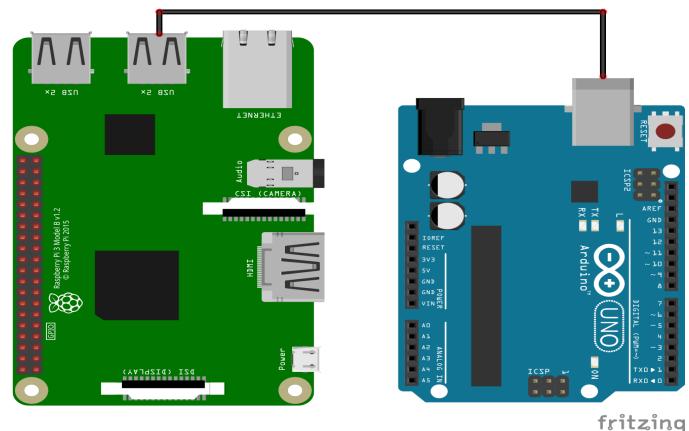


Figura 7. Representação da conexão serial entre o arduino uno R3 e a raspberry pi 3B +.

Logo após a aquisição do sinal ECG pelo arduino, ele deve ser enviado para a placa raspberry pi, o arduino faz a conversão do sinal analógico para digital e comunica-se com a raspberry de forma serial de acordo com a figura 7. Em seguida deve-se desenvolver o código (disponível em anexo) na placa raspberry pi capaz de receber os dados do sensor ECG advindos do arduino, esse código também é capaz de salvar esses arquivos e enviá-los para o software puredata.

VIII. RESULTADOS

Como resultados preliminares, o circuito montado para o desenvolvimento do trabalho proposto, se mostrou capaz de realizar a aquisição e filtragem do sinal ECG e enviá-lo para a placa de desenvolvimento raspberry através de conexão serial com o arduino, esse que faz a conversão do sinal analógico em digital.

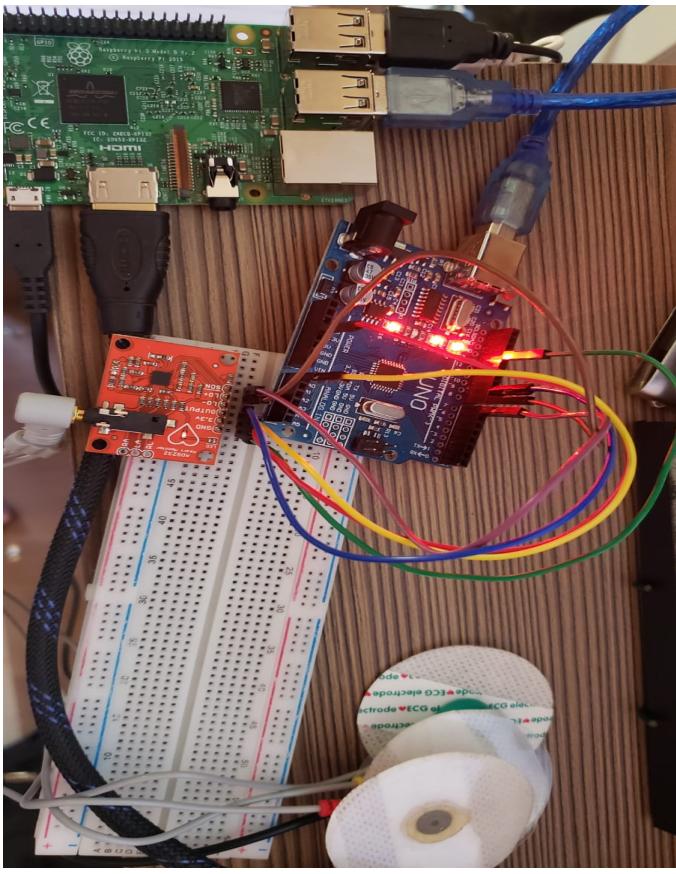


Figura 8. Foto do circuito montado para a aquisição do sinal ECG pelos sensores e envio para a placa de desenvolvimento Raspberry pi.

Alguns desafios foram encontrados ao montar o circuito da figura 8, problemas com mau conexão e pinagem tomaram bastante tempo na montagem do circuito, no entanto após a montagem correta, a aquisição do sinal ECG foi possível e os valores mostrados na figura 9, se mostraram realistas e capazes de representar bem a realidade, estavam de acordo com o esperado.

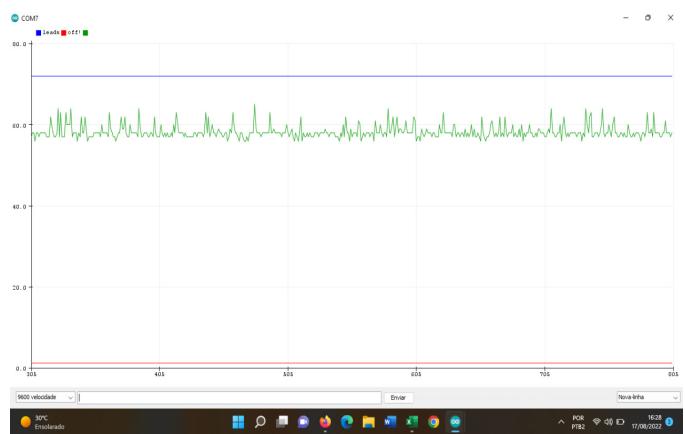
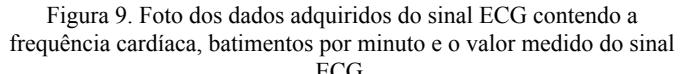


figura 10. Foto contendo o gráfico de variação cardíaca do sinal ECG adquirido pelo sensor.

É possível perceber que o gráfico ainda não está normalizado e não apresenta a forma correta como o esperado, essa questão ainda está sendo trabalhada para a normalização do gráfico para facilitar a sua compreensão.

Outro ponto crucial deste trabalho é o envio dos dados adquiridos pelo arduino, sua conversão e posterior envio para a placa raspberry. Nessa questão a opção de comunicação adotada foi a troca de informação por meio de conexão serial entre as duas placas e na figura 11 é possível perceber os valores de frequência cardíaca sendo mostrados na interface gráfica da raspberry pi.

A principal dificuldade nesta etapa do trabalho é salvar os dados recebidos na raspberry pi e enviá-los para o software PureData. Quanto a essa questão ainda não obtivemos sucesso e estamos trabalhando para encontrar a melhor maneira de salvar esses arquivos e enviá-los para o Puredata fazer o processamento e conversão dos valores de ECG em notas musicais.

Posteriormente, na entrega do último ponto de controle conseguimos desenvolver o código na linguagem python que é capaz de receber os dados advindos do sensor e salvar em um arquivo com extensão .txt, o que pode ser observado no arquivo denominado: `ecg_arthur.txt` disponibilizado na plataforma github com o link disponível na bibliografia deste projeto[8].

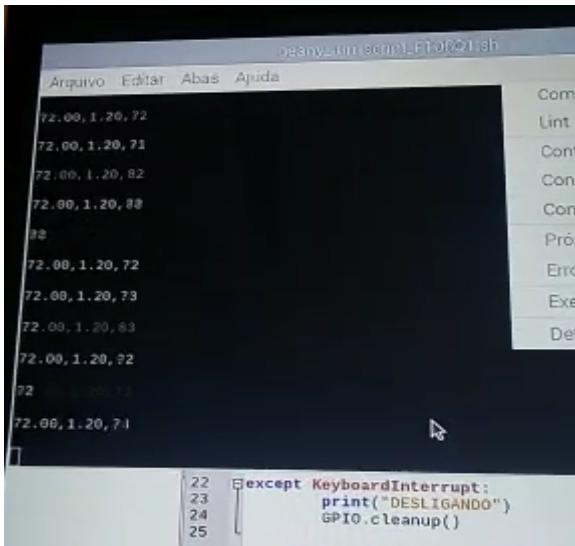


Figura 11. Foto dos dados adquiridos do sinal ECG contendo a frequência cardíaca, batimentos por minuto e o valor medido do sinal ECG sendo apresentados na interface gráfica da Raspberry pi.

Por fim, a última etapa desse projeto é o desenvolvimento dos dados recebidos através do software PureData, nessa plataforma os dados enviados pela raspberry serão processados e através de mecanismos do próprio software serão convertidos em notas musicais de acordo com o valor da frequência cardíaca informada. No entanto, como o problema citado no parágrafo anterior ainda não foi solucionado, a figura 12 mostra as etapas do processo de conversão dos dados de ECG em notas musicais sem o resultado da saída sonora ainda, pois o software ainda não está conseguindo receber de forma adequada os dados advindos do microcontrolador raspberry pi.

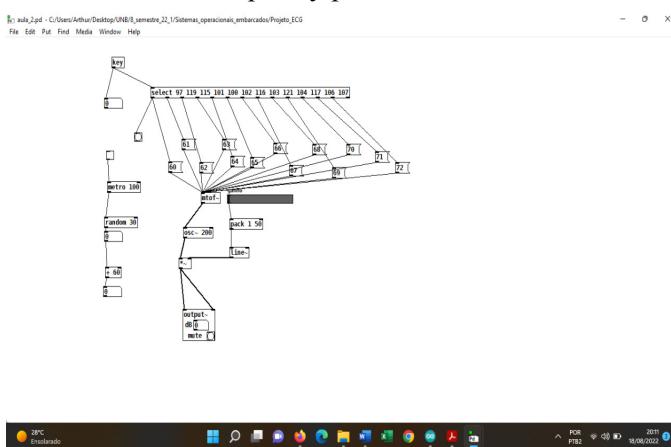


Figura 12. Interface do software PureData demonstrando o processo de conversão dos valores do teclado e transformando-os em saídas sonoras.

Em suma, ainda existem alguns problemas a serem resolvidos no projeto para se atingir o objetivo proposto, esses problemas são a normalização do gráfico de sinal ECG plotado e a conexão entre o microcontrolador Raspberry pi e o software PureData, essa parte é crucial, pois deve-se salvar os dados no programa desenvolvido na raspberry pi para receber os dados advindos do arduino de forma adequada e compatível com as entradas aceitas pelo software PureData para a realização do processamento desses dados.

IX. DISCUSSÃO

Como proposto nesse projeto, a aquisição e processamento dos dados de ECG foram realizados utilizando-se do sensor ad8232 e o arduino em comunicação serial com a raspberry pi que por sua vez tinha a tarefa de processar os dados de ECG coletados. Podemos perceber pelos dados mostrados na figura 11 que o sensor está bem calibrado e que o código utilizado para processar e converter esses sinais estão funcionando corretamente haja vista que os valores encontrados de ECG em teste realizado condizem com o esperado para uma pessoa com as características semelhantes às características físicas dos dois autores desse projeto e que se submeteram ao teste do sensor.

Ressalta-se ainda que o programa desenvolvido no software PureData é capaz de modular diferentes valores de entrada e condicioná-los a diferentes notas musicais de acordo com sua frequência assim como proposto no início do projeto.

No entanto, algumas dificuldades foram encontradas durante a execução desse projeto. O principal desafio a ser solucionado é a conexão entre os dados recebidos na raspberry pi e a entrada de dados do programa desenvolvido no software PureData, logo, a conexão entre os dados advindos do sensor ecg ad8232 ainda não pode ser concluída como entrada do programa que modula a saída de áudio de acordo com a frequência dos dados de batimentos cardíacos.

Um dos caminhos propostos para se resolver esse problema de conexão é salvar os dados ECG que chegam na raspberry pi como arquivos com extensão .midi ou .wave. Uma das ferramentas que o software PureData dispõe são caixas de entrada e saída, uma dessas caixas de entrada pode ser o arquivo salvo na raspberry pi com o formato midi que normalmente é utilizado no programa mencionado acima como a entrada de algum instrumento como uma guitarra por exemplo. Alguns programas e projetos disponíveis online demonstram essa conexão.

Mediante a isso, é importante ressaltar que esse problema de conexão ainda é uma tarefa em andamento e que já foram encontradas algumas soluções no desenvolvimento desse projeto que tem a capacidade de resolver o problema apresentado anteriormente. Na figura 11, pode-se perceber que os dados que chegam na raspberry pi já estão sendo salvos automaticamente utilizando-se do código desenvolvido em linguagem python e que é capaz de salvar os valores de ECG em arquivos com extensão .txt, mas que no entanto, não é uma extensão aceita como entrada no software que modula a saída sonora do sinal ECG.

X. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados do projeto pode-se observar os sinais coletados com o arduino porém ao processá-los e enviar para programa pure data não se obteve sucesso. No programa do pure data foi criado uma porta para receber os dados do arduino, ligado a uma seletora dos números de batimento por minuto. Ao passar por essa seletora cada valor do batimento passa para uma conversão para uma nota musical com saída de áudio do computador. Em relação ao programa não se pode conectar o arduino ao programa pure data dentro da raspberry.

Outro ponto crucial do projeto foi emitir som com o software puredata, enfrentamos algumas dificuldades como habilitar uma função de saída de áudio no software, o que conseguimos contornar utilizando uma função que fazia a conversão do sinal digital para analógico a função “dac~” pode ser observada na figura x.

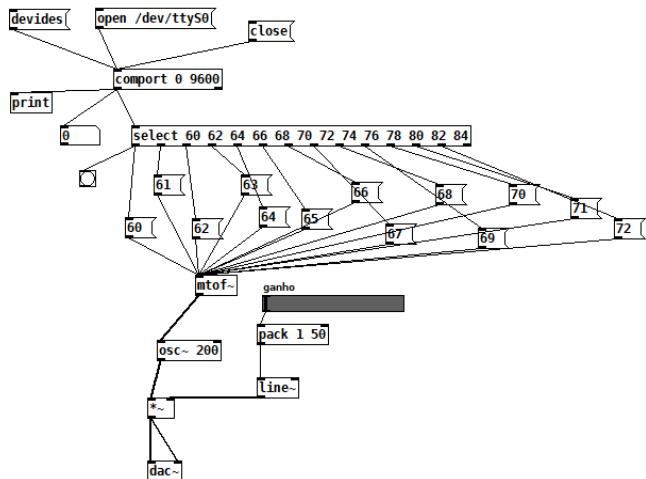


Figura 13. Interface do software PureData demonstrando o processo de conversão dos valores de evg recebidos e transformando-os em saídas sonoras.

No entanto, no teste do arquivo em puredata, o sistema desenvolvido era capaz de gerar a saída sonora mas não conseguia fazer a seleção dos valores de frequência de batimentos cardíacos e condicioná-los a saída de áudio em frequência específica para cada valor de ecg recebido no

puredata, o som de saída do programa era contínuo e na mesma frequência, o que também pode ser observado a estrutura do programa desenvolvido, ressaltando também as funções criadas para receber o sinal de frequência cardíaca conectados com a porta seletora na figura 13.

Em suma, o trabalho desenvolvido ainda possui alguns pontos a melhorar para alcançar todos os objetivos propostos. No entanto, alguns pontos como implementar e coletar os dados advindos do sensor de ecg, visualizar e salvar esses dados, fazer a integração do arduino com a raspberry, fazer o download do software puredata e adicionar uma saída sonora ao programa através do desenvolvimento do mesmo na raspberry. Logo, conclui-se que conseguimos desenvolver parcialmente os objetivos propostos, enfrentamos algumas dificuldades mas conseguimos aprender bastante com o desenvolvimento do projeto, além disso, é um projeto que ainda precisa ser finalizado e pode ter seu desenvolvimento futuramente.

XI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Aquisição e filtragem de sinais de ECG com Raspberry Pi e conversor AD-
<https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/4809/2185>
- [2] J. Análise de algoritmos de compressão em sinais de ECG utilizando um sistema embarcado:
<https://sol.sbc.org.br/index.php/erbase/article/view/8539/8440>
- [3] John G. Webster, 'Encyclopedia of Medical devices and instrumentation', vol 1
- [4] Myer Kutz, 'Biomedical Engineering and design handbook'
- [5] R Desenvolvimento de um eletrocardiógrafo de baixo custo utilizando um microcomputadorRaspberryPI
<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15804>
- [6] IoT based low-cost distant patient ECG monitoring system:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8230>
- [7] Documentação Puredata
http://msp.ucsd.edu/Pd_documentation/index.htm
- [8] GitHub com os arquivos e códigos desenvolvidos
https://github.com/ArthurHayden/prj_soc