

Healthy Heartbeats – Dispositivo de Eletrocardiograma Smart

Caio Matheus Zardo Lopes – 14/0176721
Universidade de Brasília – Faculdade do Gama
Estudante de Engenharia Eletrônica
Brasília, Brasil
caioozardoo@gmail.com

Marcos Felipe dos Santos Vieira Alves – 12/0127938
Universidade de Brasília – Faculdade do Gama
Estudante de Engenharia Eletrônica
Brasília, Brasil
mfelippe.bsb@hotmail.com

Resumo – Este trabalho descreve o desenvolvimento, com o uso dos conceitos de Sistemas Embarcados e de Raspberry Pi, da implementação de um Monitor Cardíaco (ECG) Real-Time embarcado, o qual permitirá a implementação futura de mais alguns algoritmos complexos para classificação e identificação de várias cardiopatias, porém, neste momento, identificará apenas: bradicardia e taquicardia, o qual, após uma análise sucinta da frequência cardíaca, o resultado é mostrado na tela.

Palavras chave – Raspberry Pi 3, ECG, Real-Time, Monitor Cardíaco, Coração e Sistema Cardiovascular, Diagnóstico.

Abstract – This work describes the development of a Portable Real-Time Cardiac Monitor (ECG), using the Embedded Systems and Raspberry Pi concepts, which will allow the future implementation of some more complex algorithms for classification and identification of several cardiopathies, however, at this time, will only identify: bradycardia and tachycardia, which, after a brief analysis of the beats, will be shown on the screen the results.

Index Terms – Raspberry Pi3, ECG, Real-Time, Cardiac Monitor, Heart and Cardiovascular System, Diagnosis.

I. JUSTIFICATIVA

Segundo dados de 2015 da Organização Pan-Americana da Saúde e da Organização Mundial da Saúde (OPAS/OMS), a cada ano, cerca de 140 mil pessoas morrem de doenças do coração no Brasil. Novamente, segundo a OPAS, a incidência de doenças cardiovasculares é umas das principais causas de morte em todo o mundo [1]. Em 2011 quase 17 milhões de pessoas morreram em decorrência deste tipo de doença. Do início do ano de 2019 até o mês de abril, segundo a SBC (Sociedade Brasileira de Cardiologia), mais de 95.252 pessoas faleceram por doenças cardiovasculares no Brasil [2].

Cerca de 90% dessas mortes, inclusive as decorrentes de mal súbito [3], poderiam ter sido evitadas ou postergadas com o diagnóstico básico de um simples Eletrocardiograma (ECG), seguido de tratamento e acompanhamento médico adequado, fora isso, alguns sintomas podem ajudar a identificar um problema cardíaco.

O ECG é uma ferramenta de diagnóstico que relata atividade elétrica do coração, captada por eletrodos na pele. Será utilizado um sinal que será captado para se medir a frequência e a regularidade dos batimentos cardíacos. Ele é o principal exame para diagnóstico de doenças cardíacas e isto se deve ao fato de o exame ser simplório e não invasivo, ou seja, o sinal é medido na superfície do corpo humano sem preparações maiores [4].

Estimular as pessoas a fazerem o ECG, poderia auxiliar na prevenção de diversos males cardíacos. Entretanto, facilitar o acesso a exames de ECG com aparelhos de uso pessoal capazes de produzir as ondas cardíacas não seria suficiente pelo fato de

maioria dos usuários serem leigos no assunto. Por outro lado, fazer com que o equipamento possa sugerir ao usuário que ele deve procurar um médico, com talvez alguma possível patologia, pode ter um efeito benéfico.

Um ponto importante deste protótipo a ser desenvolvido é a situação de localidades que tenham dificuldade de acesso a aparelhos de monitorização de sinais cardíacos, onde a disponibilidade de aparelhos portáteis poderia contribuir grandemente.

Portanto, o objetivo deste trabalho é desenvolver o protótipo capaz de captar, amplificar e tratar o sinal de um aparelho portátil de ECG, em que o usuário o pluga em um monitor, via HDMI, para o monitoramento, entregando-o a um software capaz de apresentá-lo em uma tela gráfica para análise. Será dedicado mais aos que são portadores de alguma cardiopatia ou que possuem um quadro favorável ao seu surgimento. Com a finalidade de colaborar com a eficiência e rapidez no diagnóstico o sistema irá contar com a identificação de anomalias no ECG e através disso emitirá um alerta para o operador das possíveis duas cardiopatias que iremos implementar.

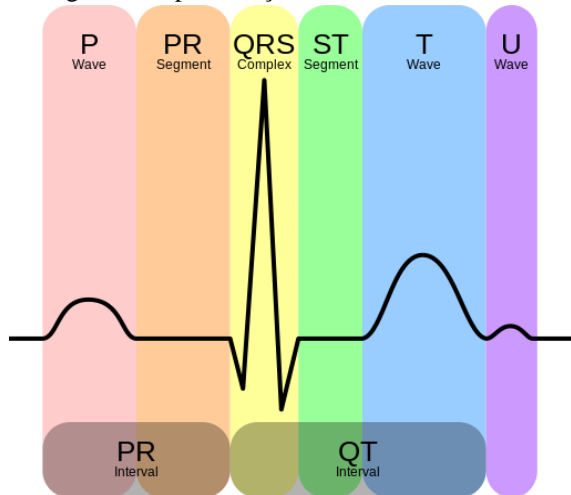
Em termos gerais, apresentaremos o que um ECG está representando e como podemos descrevê-lo. O ECG é separado em dois intervalos básicos: o intervalo PR e o intervalo QT, descritos um pouco abaixo:

Intervalo PR

É a onda inicial gerada por um impulso elétrico que vai do átrio direito para o esquerdo. O átrio direito é a primeira câmara

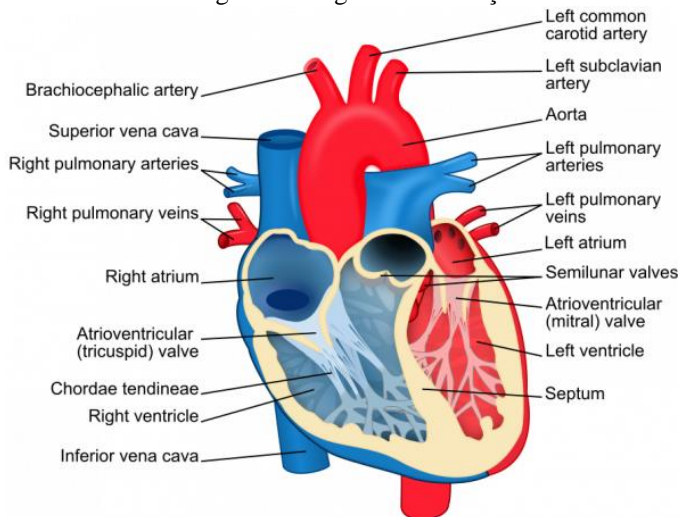
a ver o impulso elétrico. Esse impulso elétrico faz com que as câmaras “despolarizem”. Isso o força a contrair e drenar o sangue desoxigenado da veia cava Superior e Inferior para o ventrículo direito. À medida que o impulso elétrico percorre a parte superior do coração, ele dispara o átrio esquerdo para contrair. O átrio esquerdo é responsável por receber sangue recém-oxigenado dos pulmões para o ventrículo esquerdo através das veias pulmonares direita e esquerda. As veias pulmonares são vermelhas no diagrama porque estão carregando sangue oxigenado.

Imagem 1: Representação dos intervalos do ECG.



FONTE: Wikipedia.org

Imagem 2: Diagrama do coração.



FONTE: Wikipedia.org

Intervalo QT

Onde começa a ficar interessante. O QRS é um processo complexo que gera a assinatura “beep” em monitores cardíacos.

Durante o QRS, ambos os ventrículos começam a bombear. O ventrículo direito começa a bombear sangue desoxigenado para os pulmões através das artérias pulmonares direita e esquerda. As artérias pulmonares são azuis no diagrama porque estão carregando sangue desoxigenado. Elas ainda são chamadas de artérias porque as artérias levam sangue para o coração. O ventrículo esquerdo também está começando a bombear sangue recém-oxigenado pela aorta e pelo resto do corpo. Após a contração inicial vem o segmento ST. O segmento ST é bastante quieto eletricamente, pois é o momento em que os ventrículos aguardam para serem “re-polarizados”. Finalmente a onda T torna-se presente para ativamente “re-polarizar” ou relaxar os ventrículos. Essa fase de relaxamento redefine os ventrículos a serem preenchidos novamente pelos átrios.

II. OBJETIVOS

A. Captar os sinais cardíacos com o módulo e enviar os dados para o dispositivo embarcado

Para captar os impulsos elétricos ou sinais cardíacos emitidos pelo corpo humano, neste projeto, fizemos o uso de eletrodos que captam estes sinais. Esses eletrodos possuem um cabo triplo que os ligam diretamente ao módulo AD8232. Ligamos as saídas GPIO deste módulo diretamente nas saídas GPIO do Arduino, porque este tem, conversor analógico para digital. Logo, tivemos que desenvolver um código em Linguagem “C ++” que pudesse realizar essa conversão para futura interpretação na placa Raspberry.

B. Projetar o tratamento de sinais enviados pelo arduino e oferecer uma interface intuitiva para o usuário dentro da Raspberry

No momento em que o usuário liga a Raspberry, ele vai interagir com esse computador, vendo sua área de trabalho e verá que existirá um executável chamado ECG H&H. Ao clicar nele e executar, o programa necessitará do módulo plugado e do Arduino, caso contrário o usuário verá uma mensagem na tela dizendo: “Módulo desconectado”. Ao conectar o módulo e posicionar os eletrodos no lugar correto, a análise dos batimentos começa a ser feita.

C. Analisar a frequência cardíaca Disponibilizar os dados cardíacos na interface gráfica em tempo real

Serão feitas várias tratativas de sinais, ou melhor, Dentro do código haverá um algoritmo que percorrerá todo o formato de onda, mostrando os BPM (Batimentos por minuto), quantos batimentos, e o tempo analisado. Definiremos como tempo de análise aproximadamente três minutos, que é o tempo comumente adotado para emitir gráficos de análise de ECG, hoje, em centros médicos. O algoritmo analisará os picos, levando em consideração o tempo, dando então os BPM. Com isso, após a análise de três minutos, o código será capaz de definir se a pessoa está com: bradicardia, frequência cardíaca normal ou taquicardia, a partir de dados médicos sobre saúde do coração, os resultados serão mostrados na tela para o usuário.

Esperasse que o programa disponibilize para o usuário um gráfico com dados captados do módulo ECG para que o usuário consiga perceber suas atividades cardíacas de maneira mais intuitiva.

Em suma, será a elaboração de um projeto que consiste em um dispositivo de eletrocardiograma smart, utilizando uma Raspberry Pi 3, que possa ser acoplado em um monitor externo, verificando continuamente os batimentos cardíacos, enquanto plugado, de um paciente/usuário, indicando alterações no ritmo cardíaco fazendo sua detecção.

III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente no mercado existem diversos modelos de monitores cardíacos. Alguns desses modelos oferecem diversas funcionalidades que resultam no alto preço desse produto no comércio.

Dois exemplos desses modelos são:

A. Monitor de Sinais Vitais – Bionet – Multiparamétrico – BM3

1) Parâmetros de monitorização:

- a) ECG;
- b) Oximetria;
- c) Pressão arterial não invasiva;
- d) Respiração;
- e) Temperatura externa.

2) Informações técnicas:

- a) Detecção de marcapasso com indicador na tela na forma de onda;
- b) Tela colorida de alta resolução;
- c) Bateria integrada para melhor compatibilidade;
- d) 128 horas de armazenagem de dados;
- e) Conector de alimentação DC para veículos de transporte;
- f) Lan (conexão sem fio);
- g) Atualização de software online

3) Custo: R\$15999,00.

B. Monitor Cardíaco ECG – Congelamento – MX20

1) Parâmetros de monitoração:

- a) Eletrocardiograma (ECG)

2) Informações técnicas:

- a) Detecção de marcapasso com indicador na tela;
- b) Congelamento de sinal;
- c) Tela de alta resolução;

d) Permite interligação com eletrocardiógrafo e desfibrilador;

e) Detecção de eletrodo solto e com indicação no display;

f) ECG – detecção da onda “R”, por software inteligente.

3) Custo: R\$7149,78.

Os monitores cardíacos que monitoram somente ECG são construídos de maneira mais simples comparada aos monitores que monitoram diversos outros sinais vitais, esses dispositivos com menos funções apresentam um menor custo de fabricação. Existem projetos de monitores cardíacos usando microcontroladores com a Raspberry e Arduino, com intuito de desenvolver plataformas IoT de monitoramento vitais [10], que assim como outros projetos, se enquadra no escopo da disciplina.

IV. REQUISITOS

O sistema deve:

- A. Monitorar a frequência cardíaca por meio dos dados coletados e indicar alterações na ritmia;
- B. Desenvolver um dispositivo com um ótimo custo-benefício que atenda as necessidades do paciente /usuário;
- C. Apresentar dados captados do eletrocardiograma (módulo AD8232) no mostrador da maneira mais simultânea possível;
- D. Disponibilizar os dados do ECG e analise da frequência cardíaca de maneira visual.

V. TABELA DE MATERIAIS

Tabela 1: Materiais usados no projeto.

Quantidade	Equipamento	Marca
01	Raspberry Pi 3 – Modelo B	Raspberry Pi Foundation
01	AD8232 – Módulo de Monitoramento de Frequência Cardíaca	Spark Fun
01	Arduino Uno R3	-
01	Cabo Triplo	-
03	Eletrodos	-
01	Monitor	-
01	Protoboard	Hikari
-	Jumpers	-
01	Fonte 5 Volts	

FONTE: Própria (2019).

VI. BENEFÍCIOS

O ECG é a principal ferramenta para diagnósticos cardíacos. O uso do Healthy Heartbeats beneficia pessoas que necessitam

de um monitor cardíaco diariamente, como pacientes que apresentam quadros de patologias cardíacas graves e/ou sofrimento cardíaco.

O diferencial desse dispositivo é o custo-benefício e a facilidade de transformar um monitor comum em monitor de amostragem cardíaca capaz de detectar atividades elétricas do coração, identificar precocemente determinadas patologias cardíacas que podem ser evidenciadas por meio da análise de dados da frequência captada pelo dispositivo.

Além disso, vale ressaltar as situações de localidades que apresentam dificuldade de acesso a aparelhos de monitorização de sinais cardíacos em que o fornecimento de aparelhos de eletrocardiograma portátil poderia contribuir positivamente nos diagnósticos cardíacos.

VII. HARDWARE E SOFTWARE

A maior parte do projeto é focado em processamento de sinais e dessa forma, a ênfase principal será em software mas, não deixaremos de falar do hardware, que engloba quatro pontos principais: a placa Arduino, a outra placa Raspberry Pi 3, o monitor de frequência cardíaca AD8232 e um monitor, não deixando de mencionar também os periféricos como cabos e eletrodos que compõe a parte principal deste projeto. Em suma, basicamente, envolve um microcontrolador, um minicomputador, um amplificador e um monitor que mostrará os resultados obtidos.

A placa Raspberry Pi 3, por ser um dos objetos de estudo da disciplina, será utilizada como um minicomputador no projeto, ou seja, 90% da programação lógica para resolução do problema estará nessa placa. Ela funciona como o “cérebro” do sistema. Esta, traz um processador atualizado da Broadcom, com quatro núcleos de 1,2 GHz, suporte a 64 bits e arquitetura ARM. Logo temos um acesso embarcado apropriado para o projeto o qual deseja-se montar [5].

Imagem 3: Raspberry Pi 3 Modelo B.



FONTE: RaspberryPi.org

Mesmo observando que a Raspberry é uma placa muito potente e ideal para o projeto que estamos implementando, sabemos que ela não possui um conversor de sinal analógico para digital, logo, a placa mais acessível, tendo em vista o que já possuíamos em decorrência das exigências do curso de Engenharia Eletrônica na UnB-FGA, foi o Arduino Uno. Basicamente, ele será usado no projeto como um conversor de sinal analógico para digital, pois, após esta conversão o Raspberry Pi 3 já é capaz de receber o código, entender e fazer a análise e processamento de sinal. Contudo, logicamente, haverá uma conexão entre o Arduino e o Raspberry via cabo, pois caso utilizássemos os pinos GPIO do Arduino.

Imagem 4: Arduino Uno R3.



FONTE: Arduino.cc

As saídas do analogRead possuem 10 bits [6], como podemos observar os bits no Serial.Print. Logo, iremos enviar os dados via comunicação serial entre a Raspberry e o microcontrolador, ou seja, será enviado um bit por vez.

Então, como o Serial.Print está enviando os bits para o monitor, no caso específico, quando abrimos pelo IDE do Arduino, a placa já está enviando serialmente, logo, ao invés de utilizar o Serial.Print, enviaremos estes dados para a Raspberry via comunicação UART.

O monitor de frequência cardíaca AD8232 apresenta nove conexões no CI, comumente chamadas de “pinos”, pois vêm dos pinos do CI, mas, no entanto, são orifícios nos quais se pode soldar fios ou pinos, para substituir a entrada convencional principal caso haja algum problema.

Na conexão do Módulo AD8232 com o Arduino, que funcionará como um conversor analógico-digital, conectaremos cinco dos nove pinos da placa ao Arduino. Estes pinos estão rotulados na tabela abaixo:

Tabela 2: Conexões a serem realizadas.

Identificação	Função	Conexão Arduino
GND	Terra	GND
3.3V	Fonte de Alimentação 3.3V	3.3V
OUTPUT	Sinal de Saída	A0
LO-	LEDS desligam -	11
LO+	LEDS desligam +	10
SDN	Desligar	-

FONTE: Própria (2019).

O uso deste módulo no projeto facilita grandemente a montagem de toda a aparelhagem, pois a montagem do circuito Eletrocardiograma é grande e poderia, eventualmente, apresentar algum defeito.

Imagem 5: Módulo AD8232.



FONTE: Learn.sparkfun.com

O monitor de frequência cardíaca AD8232, é uma placa econômica usada para medir a atividade elétrica do coração. Esta atividade elétrica pode ser mapeada por um eletrocardiograma ou ECG com uma saída de leitura analógica [7]. Os ECGs podem ser extremamente ruidosos, logo, o monitor de frequência cardíaca atua como um amplificador operacional para ajudar a obter facilmente um sinal claro dos intervalos PR e QT.

Tem-se um cabo que acompanha o módulo que é um cabo de sensor simples de 3 condutores com cabos de eletrodos. Esses cabos são de 24cm de comprimento e apresentam um conector de áudio de 3,5mm em uma extremidade com

receptáculos de tipo snap para blocos de sensor biomédico. Cada cabo vem em um conjunto vermelho, amarelo e verde.

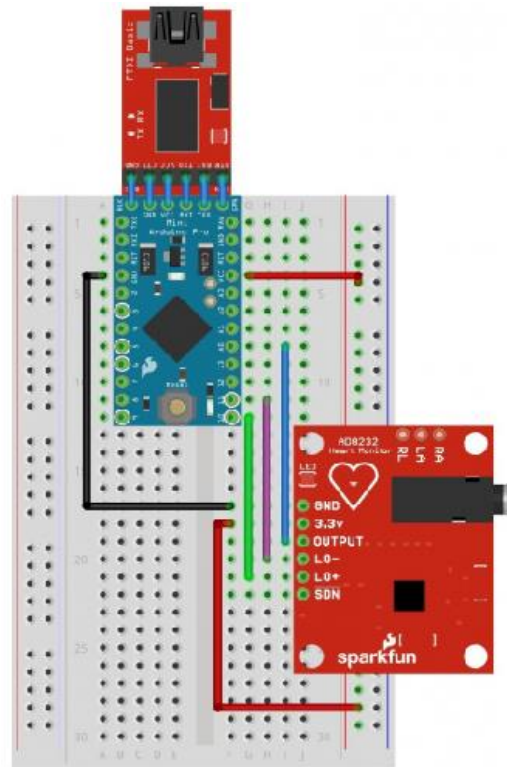
Também existe o conjunto de eletrodos necessários, que são descartáveis e que podem ser usados para medirem os níveis EEG, ECG e EMG. São perfeitos para o monitoramento de curto prazo de efeitos de Neurofeedback e Biofeedback.

O hardware é concentrado em criar uma interface para o usuário o qual, através de uma forma intuitiva, mostra os batimentos cardíacos em tempo real e, após um tempo de três minutos, expõe o resultado final na tela.

A primeira fase de montagem do projeto é a comunicação entre o módulo AD8232 e o Arduino, para que o sinal dos batimentos cardíacos seja receptado pelo módulo e convertidos de analógico-digital pelo microcontrolador.

Na montagem do nosso circuito o pino SDN não será utilizado, logo, será conectado ao Ground ou Terra, pois se for em um pino digital, o chip será desligado. Isto ocorre porque estamos realizando uma aplicação de baixa potência.

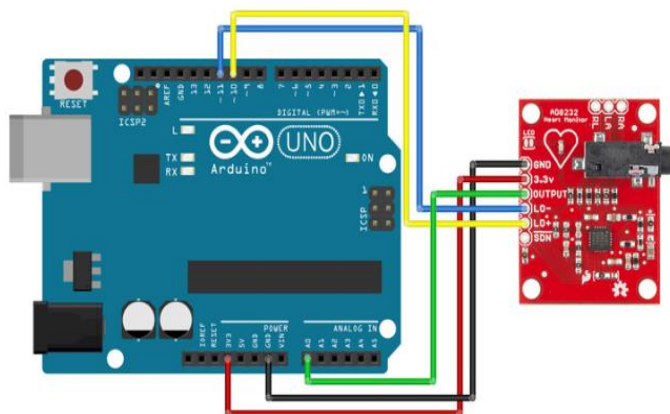
Imagem 6: Diagrama de ligação.



FONTE: Learn.sparkfun.com

Utilizando um Arduino Nano V3, faríamos exatamente as ligações expostas acima, já, se utilizarmos um UNO, faríamos a demonstrada logo abaixo. Podemos perceber que as conexões se mantêm.

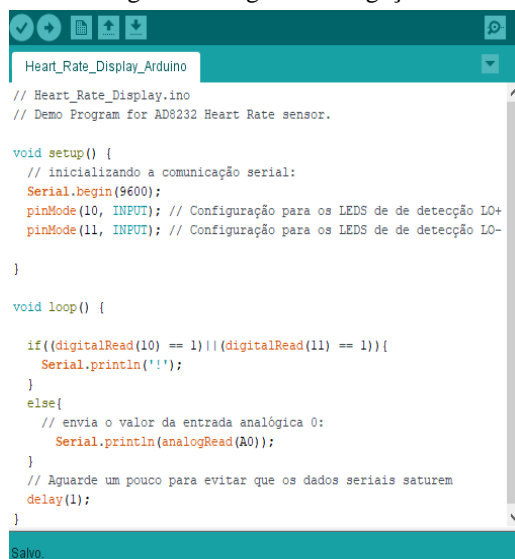
Imagem 7: Diagrama de ligação 2.



FONTE: Learn.sparkfun.com

Com as ligações dos eletrodos no corpo humano, a parte de hardware está praticamente pronta. O software usado para fazer a comunicação do hardware e o microcontrolador foi o IDE do Arduino para mostrar os resultados (fig. 9). Uma interface de fácil utilização e com várias bibliotecas para fazer o código.

Imagem 8: Diagrama de ligação 2.



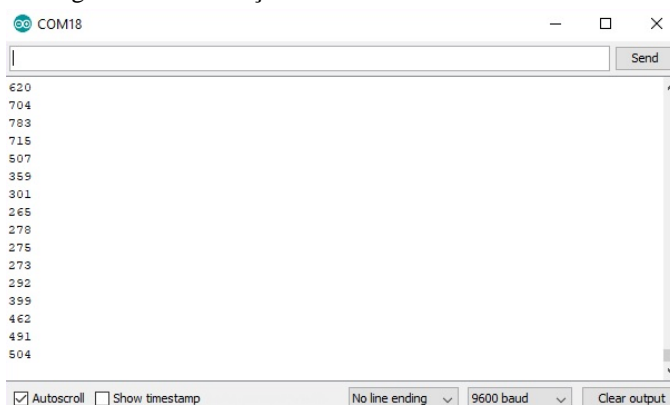
FONTE: Própria (2019).

Com o código escrito, iremos fazer o upload para o microcontrolador. Antes de fazermos a conexão entre o Arduino e a Raspberry, precisamos testar o funcionamento do módulo para termos certeza de que o mesmo está tendo um funcionamento com plotagens cardíacas corretas.

Para verificar se o monitor de frequência cardíaca está funcionando, foi aberto o monitor serial em 9600 bauds. Valores serão mostrados na tela. Abaixo está um exemplo de

saída com os sensores conectados nos lugares corretos. Sua saída serial deve aumentar entre (+300) e (-200) em torno no valor central de aproximadamente (~500).

Imagem 9: Visualização do monitor serial em 9600 bauds.



FONTE: Própria (2019).

É muito vago olhar para os dados seriais se estamos somente vendo os valores. Outra forma de ver é utilizando a Plotadora Serial do Arduino, onde devemos ver uma forma de onda similar à imagem abaixo, quando os sensores estiverem posicionados corretamente e não estiverem em movimento.

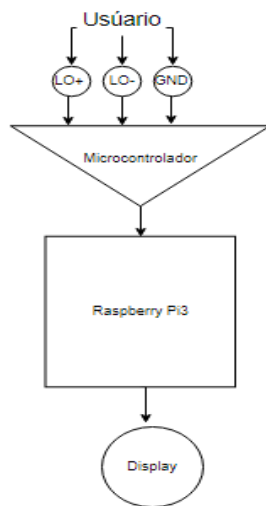
Imagem 10: Gráfico utilizando a Plotadora Serial do Arduino.



FONTE: Própria (2019).

Quando estiver pronto, com a porta COM ajustada, pressionaremos o botão executar e veremos uma imagem similar a encontrada logo abaixo. A imagem que utilizamos é de um exemplo em que o paciente decide remover os sensores, logo a detecção de desencadeamento no código será ativada e exibirá uma linha azul plana.

Imagem 11: Esquemático de Funcionamento do Módulo completo.

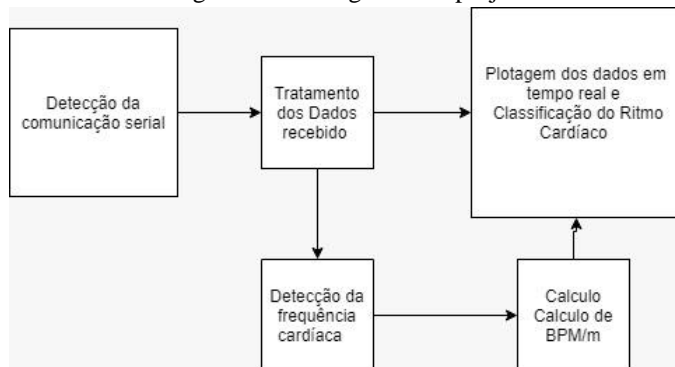


FONTE: Própria (2019).

A figura mostra o funcionamento do módulo, aonde os eletrodos LO+ e LO- são responsáveis por captar as variações dos músculos cardíacos e transformar em corrente elétrica. Esses eletrodos são INPUTS do Módulo AD8232, o mesmo conectado em um microcontrolador que transfere os dados obtidos no módulo para a Raspberry pi3.

A Raspberry será responsável por toda a análise de processamento digital e amostragem dos dados através de um display.

Imagem 12: Fluxograma do projeto.



FONTE: Própria (2019).

Todo o software embarcado foi construindo utilizando linguagem C++ e os algoritmos foi implementado na plataforma Qt5.

Realizou-se a comunicação Uart entre a Raspberry e o microcontrolador. Para conseguir obter os dados da saída serial do Arduino foi utilizado um <QSerialPort> uma biblioteca do Qt5 que facilita a implementação da comunicação do sistema

operacional com dispositivos conectados a ele, onde foram feitos diversos testes para verificação do funcionamento das bibliotecas e também alguns estudos, com a mesma finalidade, para que as ferramentas sejam utilizadas de forma correta.

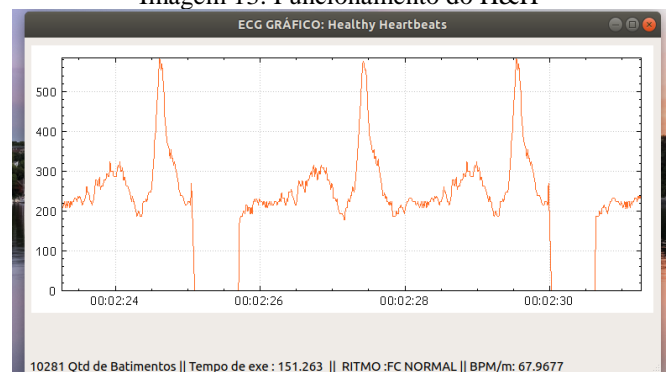
Com a comunicação Uart funcionando de maneira correta, o Arduino envia os dados do ECG para a plotagem do mesmo na Raspberry. O código para o módulo AD8232 foi mantido, e na Raspberry adicionou o algoritmo, desta vez, dentro do software da Raspberry, mediante auxílio de observações feitas pelo professor, o qual tem a finalidade de captar os dados via comunicação UART e também, enviar informações para o Arduino. O código da comunicação se encontra no repositório.

Para o desenvolvimento da interface para a plotagem dos dados recebidos via UART. A parte visual foi desenvolvida utilizando a biblioteca QCUSTOMPLOT no Qt5, para se produzir a parte visual do nosso software.

O recebimento de dados para a plotagem será via thread. Entre os códigos desenvolvidos, espera-se que a comunicação entre os processos seja a parte mais básica para implementar a análise que será feita em um processo correndo paralelamente com a plotagem.

A parte mais importante do projeto é a análise do sinal recebido via UART. Para que não haja erro nos dados recebidos esse dado é armazenado em um *array* de *buffer* com dois dados e selecionamos o melhor dado entre os dois. Após a seleção do melhor dado ele é plotado na tela e paralelamente é feita a detecção da frequência cardíaca e cálculo dos batimentos por minuto. O resultado do BPM e frequência cardíaca é mostrado para o usuário na interface gráfica juntamente com o gráfico do ECG. O resultado final do software pode ser visto na figura 14 e 15 abaixo.

Imagem 13: Funcionamento do H&H



FONTE: Própria (2019).

Imagem 14: Análise dos dados

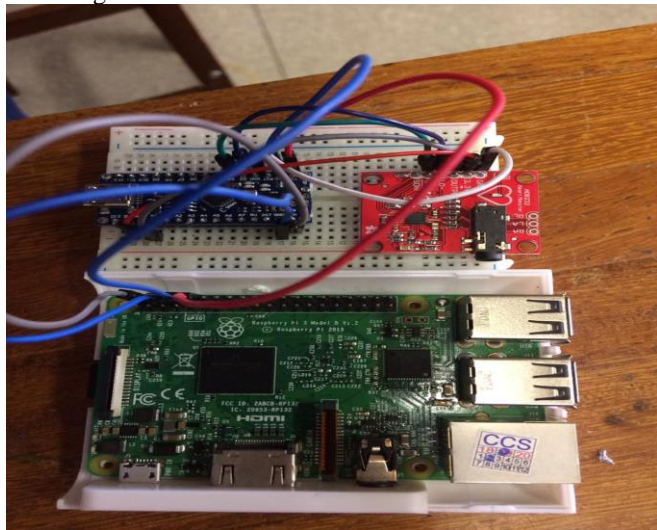
10281 Qtd de Batimentos || Tempo de exe : 151.263 || RITMO :FC NORMAL || BPM/m: 67.9677

FONTE: Própria (2019).

VIII. RESULTADOS

Até este ponto o hardware e software estão completos para visualizarmos os sinais dos batimentos cardíacos. Primeiramente, é recomendado que se encaixe os eletrodos no cabo antes da aplicação no corpo.

Imagem 15: Sensores conectados ao monitor cardíaco.



FONTE: Própria (2019).

Quanto mais próximo os eletrodos estiverem do coração, melhor será a medição. Os cabos são codificados por cores para ajudar a identificar o posicionamento adequado, conforme mostrado na tabela com base no triângulo de Eithoven. Os sensores podem ser colocados nos antebraços e na perna, conforme mostrado no diagrama a esquerda, ou, também podem ser colocados no peito perto dos braços e acima do abdômen inferior direito.

Tabela 3 – Diagrama de posições.

Cor do Cabo	Sinal
Vermelho	RA (Braço Direito)
Amarelo	LA (Braço Esquerdo)
Verde	RL (Perna Direita)

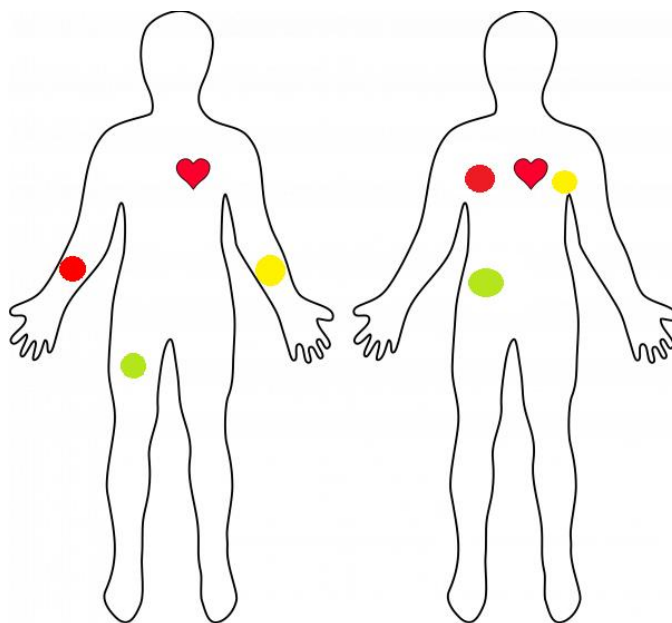
FONTE: Própria (2019).

Os resultados obtidos foram satisfatórios esperados. A comunicação entre o microcontrolador e microprocessador era um obstáculo a ser vencido e o mesmo foi concluído, agora iniciaremos a amostragem do sinal e o tratamento do mesmo.

O sinal captado dos eletrodos apresenta um pouco de ruído, isso é esperado já que o sinal obtido é na escala de mV, então o mesmo sofre interferência de diversas fontes. Mesmo apresentando problemas, os eletrodos ainda captam sinais, mesmo que com extremo ruído e passados pelo módulo são mostrados no monitor após a conversão dentro do Arduino. Logo, ao menos, a comunicação entre o Arduino e o AD8232

foi obtida com sucesso, onde conseguimos mudar a velocidade de captação e ver que os sinais realmente estão sendo obtidos e receptados.

Imagem 16: Posicionamento típico dos sensores



FONTE: Própria (2019).

IX. CONCLUSÃO

Através dos testes realizados, conclui-se que o projeto pode ser implementado, visto que a comunicação da Raspberry Pi 3 e Arduino com os periféricos funcionaria como o esperado.

A comunicação entre os dois periféricos era necessária para a continuidade do projeto, com a mesma concluída de maneira mais previa possível. Em suma, percebemos o quão útil é a utilização das bibliotecas usadas no presente experimento para a comunicação entre o Arduino e a Raspberry. A biblioteca do Qt5 <QSerialPort> facilita bastante a vida do programador quando se trata de estabelecer uma comunicação serial em software embarcado.

A utilização do Qt5 facilitou a implementação dos algoritmos C++ juntamente com a interface gráfica, uma grande ferramenta para a plotagem dos dados em tempo real foi a biblioteca *QCustomPlot*.

Em suma o desenvolvimento do projeto correu da maneira esperada, a parte do projeto que mais exigiu esforço foi o algoritmo de detectar a frequência cardíaca pois exigia um conhecimento sobre as formas de onda de um ECG, para a formulação desse algoritmo, a mais parte do projeto que mais exigiu conhecimento sobre biomédica e linguagem de programação foi o algoritmo de detectar o mesmo pode ser visto na pasta Códigos acessando o arquivo *mainwindow.cpp*, o algoritmo se encontra dentro da função *CONT_PICOS*.

REFERÊNCIAS

- [1] Organização Pan-Americana da Saúde. Disponível em: <https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5564:ate-650-mil-pessoas-morrem-de-doencas-respiratorias-ligadas-a-gripe-sazonal-a-cada-ano&Itemid=812>. Acesso em: 28/03/2019.
- [2] Agência Brasil. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-09/cada-40-segundos-uma-pessoa-morre-vitima-de-doenca-cardiovascular-no-brasil>>. Acesso em: 28/03/2019.
- [3] Cardiometro. Disponível em: <<http://www.cardiometro.com.br/antiores.asp>>. Acesso em: 28/03/2019.
- [4] Sahoo, J. P., “Analysis of ECG signal for Detection of Cardiac Arrhythmias”, Master of Technology in Telematics and Signal Processing dissertation, Department of Electronics and Communication Engineering, National Institute Of Technology, Rourkela, INDIA, 2011.
- [5] Raspberry Pi 3. Disponível em : <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>> . Acesso em: 04/04/2019.
- [6] AnalogRead(). Arduino . Disponível em : <<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/>> . Acesso em: 07/04/2019.
- [7] Módulo AD8232. Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com>>. Acesso em: 03/05/2019.
- [8] Center Medical. Disponível em: <<https://www.centermedical.com.br/monitor-de-sinais-vitais-bionet-multiparametrico-bm3/p>> . Acesso em: 28/03/2019.
- [9] Cirúrgica Passos. Disponível em: <<https://cirurgicapassos.com.br/monitor-cardiaco-ecg-congelamento-mx20.html>> . Acesso em: 28/03/2019.
- [10] My Signal. Disponível em: <<http://www.my-signals.com/>>. Acesso em: 28/03/2019.