

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

MONITORAMENTO CARDÍACO EM TEMPO REAL COM SENSOR ECG AD8232 E ESP32.

Ingrid Aruana Ribeiro, Julie Souza da Conceição, Victor Sette, Gustavo Carlos da Silva, Patrícia Marcondes dos Santos.

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, ingridaruana15@gmail.com, julie.soucac@hotmail.com, vsette007@hotmail.com, gustavo_carlos@ymail.com, patriciams@univap.br.

Resumo

O eletrocardiograma portátil é um equipamento essencial para diagnóstico de doenças cardíacas geralmente não detectadas em um exame eventual de rotina. Os componentes utilizados para o desenvolvimento do Holter foram: sensor; responsável pela leitura das atividades elétricas do coração, uma placa microcontrolada; que realiza o processamento dos dados e transmissão desses dados via bluetooth, proporcionando que o paciente acesse em seu celular em tempo real o gráfico de ECG, e um cartão MicroSD; para o armazenamento dos dados, possibilitando que o profissional tenha acesso aos mesmos após as 24 horas de exame. Após o desenvolvimento do holter, foram efetuados testes de variação dos batimentos cardíacos com um simulador multiparâmetro, possibilitando avaliar o funcionamento, o processamento e transmissão dos dados do eletrocardiograma portátil. Ao variar os batimentos cardíacos e comparar os gráficos plotados no celular e no computador, foi observado que o processamento e respostas estavam sendo simultâneos para os dois meios.

Palavras-chave: Eletrocardiograma, sensor, microcontrolador, MicroSD.

Área do Conhecimento: Engenharias - Engenharia Biomédica.

Introdução

Em todo Brasil, cerca de 14 milhões de pessoas apresentam alguma doença cardiovascular e em torno de 400 mil morrem por ano, o que corresponde a 30% das mortes de brasileiros (GUEDES, 2021). Dentre essas doenças, as que mais atingem os brasileiros são: isquemia cardíaca, doença relacionada ao infarto agudo do miocárdio, insuficiência cardíaca e ao acidente vascular encefálico (VISÃO HOSPITALAR, 2021).

O Holter, também chamado de Holter 24 horas, é um equipamento de monitorização ambulatorial do eletrocardiograma (FILHO *et al.*, 2013). É um método não invasivo e responsável por avaliar anormalidades eletrocardiográficas de pacientes com variadas doenças cardíacas. Por ser portátil, o aparelho é capaz de diagnosticar ocorrências de comportamento elétrico anormal do coração durante atividades diárias, como sono, trabalho, exercícios, estresse emocional, repouso, entre outros (FILHO *et al.*, 2013).

Nas células cardíacas, assim como em outras células do corpo, ocorre o potencial de ação. A diferença de potencial de membrana possibilita a propagação do estímulo elétrico pelo coração, consequentemente ativando o órgão, por meio de contrações. Assim como o Eletrocardiograma (ECG), o Holter registra a atividade elétrica do coração, refletindo os eventos em conjunto de suas células pela atividade elétrica (REIS, 2013).

A condução dos potenciais de ação pelo miocárdio permite que as correntes elétricas passem a ser mensuradas na superfície do corpo. Os eletrodos são colocados na superfície do corpo e conectados ao Holter que detecta as variações de voltagem causadas pelos potenciais de ação do músculo cardíaco. Os eletrodos registram e somam todos os potenciais de ação que são transmitidos através do coração dentro desse período de 24 horas (MULAI, 2019).

Diferente do ECG convencional que possui 12 derivações e 10 eletrodos, o Holter utiliza eletrodos bipolares precordiais no tórax, devido a proximidade com o coração facilitando a captação do sinal elétrico, com três derivações para o registro dos dados, sendo a derivação CM5 a que possui maior

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

sensibilidade para o diagnóstico de alterações do ritmo e a detecção de isquemia miocárdica (FILHO et al., 2013).

Na saúde, a tendência é aumentar a proximidade entre os equipamentos médicos e o paciente. O Holter registra e armazena as atividades cardíacas do paciente durante determinado período, para avaliação profissional posteriormente. Com isso, o objetivo deste projeto é desenvolver o aparelho Holter com as mesmas características, porém com dispositivos acessíveis e com possibilidade do próprio paciente monitorar seu sistema cardíaco durante suas atividades cotidianas, dentro do período de 24 horas, diretamente pelo celular apenas com um aplicativo e conexão *bluetooth*.

Materiais e Métodos

Durante o desenvolvimento do Holter, foi necessário a utilização de alguns componentes que serão apresentados a seguir.

ESP32 - A ESP32 é uma placa microcontrolada que incorpora *Wifi* e *Bluetooth*. Sua CPU é um processador *dual core* com um *clock* variável de 80 a 240 MHz. Sendo também possível desligar a CPU para ter um baixo consumo, assim utilizando o co-processador para monitorar periféricos. Contudo, a escolha desta placa foi feita a partir da sua comunicação *Bluetooth* e baixo consumo de energia, devido o projeto necessitar de uma autonomia de bateria e também de ser isento de fios e cabos para a comunicação entre os 2 (dois) blocos (ELETROGATE, 2022).

Este microcontrolador foi programado em um ambiente de auxílio para construção de *software* chamado IDE (*Integrated Development Enviroment*), utilizando a linguagem C++ (NETO, 2021).

Sensor ECG AD8232 - O sensor ECG AD8232 tem a capacidade de medir os batimentos cardíacos a partir dos eletrodos, onde eles são posicionados estrategicamente nas veias mais irrigadas do corpo, para captação dos vetores dessas forças dos batimentos e transformando-os em sinais elétricos. Ele é projetado para extrair, amplificar e filtrar pequenos sinais biopotenciais na presença de condições ruidosas, como aquelas criadas por movimento ou colocação remota de eletrodos (ANALOG DEVICE, 2020).

O sensor é composto por 6 ligações sendo SDN, LO+, LO-, 3,3V, GND e Output. Tanto o microcontrolador quanto o sensor foram conectados à alimentação 3.3 V.

Conforme o diagrama esquemático do circuito representado na figura 1, a saída Output do sensor foi conectada a saída analógica VP. Conforme tabela 1, as saídas LO- e LO+ do sensor, responsáveis por detectar problemas na conexão dos eletrodos, foram conectadas aos pinos D2 e D3 da placa microcontroladora, respectivamente. O pino de referência (terra) chamado de GND do sensor foi conectado ao GND da ESP32. E como observado na tabela, o SDN não foi utilizado, logo que o intuito da bateria escolhida é durar o período completo do exame.

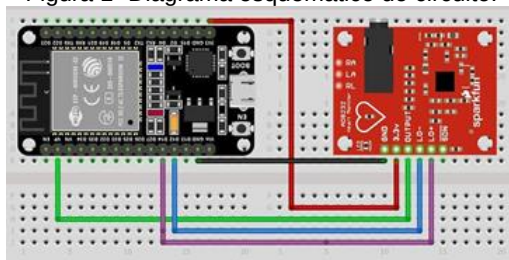
Tabela 1 - Pinagem, função e conexão.

Pino	Função	Conexão
SDN	Controle de desligamento: Ao colocar este pino em nível lógico baixo o sensor entra em modo de baixo consumo de energia.	Não usado
LO+	Indica se o eletrodo conectado na entrada IN+ está desconectado.	D2
LO-	Indica se o eletrodo conectado na entrada IN- está desconectado.	D3
3.3V	Fornece tensão de 3,3 V para alimentação de shield e módulos externos. Corrente máxima de 50 mA.	3V3
GND	Pino de referência (Terra).	GND
Output	Saída analógica.	VP

Fonte: o autor

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Figura 1- Diagrama esquemático do circuito.



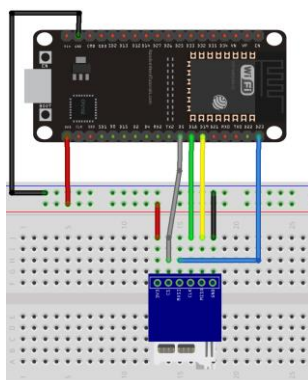
Fonte: Ayecha (2022).

Módulo de Cartão MicroSD - O MicroSD é um dispositivo com memória *Flash*, tecnologia que permite o armazenamento e acesso de dados no cartão (ALECRIM, 2021).

Foi utilizado o cartão MicroSD de 64 GB para o armazenamento dos dados obtidos durante o período de 24 horas.

O Módulo de cartão MicroSD se comunica com a Esp32 utilizando o protocolo padrão SPI (*Serial Peripheral Interface*), sendo o CS do módulo conectado ao pino D5 da placa microcontroladora, o MOSI ao pino D23, CLK ao pino D18, MISO ao pino D19 e por fim, o GND do módulo conectado ao GND da placa, conforme o diagrama esquemático do circuito representado na Figura 2.

Figura 2- Diagrama esquemático do circuito.



Fonte: Random Nerd Tutorials (2021).

Na figura 2, também é possível observar que a fonte de alimentação utilizada foi 3,3V, porém o microcontrolador não estava reconhecendo o módulo utilizando essa fonte de alimentação, portanto foi utilizado a alimentação de 5V para que o módulo funcionasse corretamente.

Antes de testá-lo juntamente com o Sensor ECG AD8232, foi necessário formatar o cartão MicroSD como FAT32 (RANDOM NERD TUTORIALS, 2021).

Simulador Multiparâmetro: MPS450 Fluke Biomedical - O MPS450 é um simulador portátil da Fluke Biomedical desenvolvido para avaliar equipamentos que realizam a captação dos sinais vitais, como eletrocardiograma, frequência respiratória, temperatura, marca-passo e condições de arritmia (ROCHA, 2014).

Para maior precisão nos testes, foi utilizado esse equipamento do Laboratório Clínica Escola da Universidade do Vale do Paraíba, para avaliar o funcionamento do projeto, analisando as ondas resultantes e o tempo de resposta conforme a variação dos batimentos cardíacos.

Após a montagem dos circuitos de cada componente, foi necessário testar o funcionamento de cada um, sensor e módulo de cartão MicroSD, com a ESP, suas programações básicas e posteriormente elaborar a programação juntando todos os componentes do Holter.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Programação

Primeiramente, foi testado o funcionamento do sensor com a ESP32, utilizando o *software* Arduino IDE, aplicando a programação básica para verificar a comunicação entre eles, com o intuito de analisar as ondas emitidas pelo *software*, conforme recebia os sinais dos eletrodos.

Após a formatação, explicado no tópico “Módulo de cartão MicroSD”, foi testada a função de leitura e armazenamento dos dados com os exemplos contidos no SD_Test do Arduino IDE.

Concluído os testes de funcionamento dos dois dispositivos, foram realizadas as conexões dos três componentes (ESP, sensor e módulo) e a construção da programação para que a partir dos dados lidos pelo sensor, sejam transferidos para o microcontrolador, processados e armazenados os registros no cartão MicroSD, que poderá ser consultado pelo profissional posteriormente. Além disso, os dados processados serão transmitidos via *bluetooth* para um aplicativo do celular no qual fará a plotagem do gráfico conforme o recebimento desses dados, possibilitando que o paciente tenha acesso.

A estrutura da programação desenvolvida foi utilizando uma programação base de transmissão de dados via *Bluetooth* retirada do CIRCUITSCHOOLS (2022). Porém, apresentou muitos artefatos de interferência de rede, observado na figura 4(a), logo foi necessário utilizar também uma programação de filtragem digital dos ruídos desenvolvida por NERY (2022), para que os traçados cardíacos no gráfico fossem os mais próximos do real.

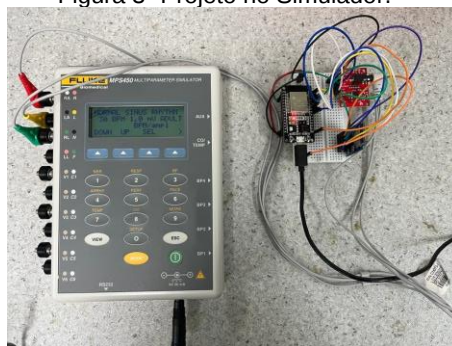
Aplicativo

Para visualização do gráfico de ECG pelo paciente, é necessário que o mesmo realize o *download* de um aplicativo no celular que faça plotagem de gráfico. O aplicativo utilizado para verificar o funcionamento da programação foi o Bluetooth Terminal/Graphics, disponível para *download* no Play Store.

Resultados e Discussões

Na figura 3, do lado direito consta o Holter conectado ao Simulador Multiparâmetro que está ao lado esquerdo. A conexão dos eletrodos com o simulador foi realizada seguindo as indicações de cores. Os eletrodos de cor vermelha, amarela e verde foram fixados com o conector R (braço direito), L (braço esquerdo) e N (perna direita), respectivamente. Para a simulação, foi utilizado o ritmo sinusal, conhecido como ritmo cardíaco normal, para 90 bpm e 120 bpm.

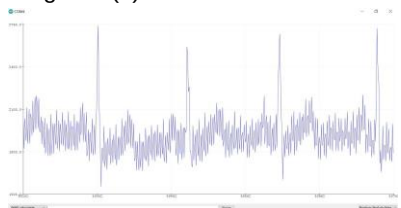
Figura 3- Projeto no Simulador.



Fonte: o autor.

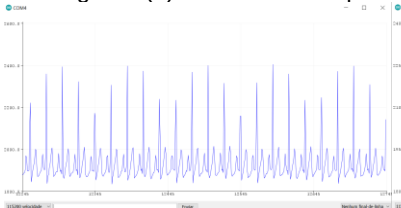
A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Figura 4(a)- Gráfico ECG com ruídos.



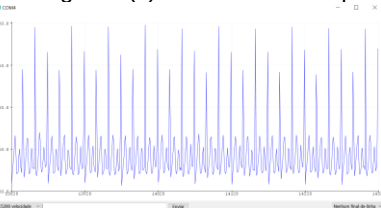
Fonte: o autor.

Figura 4(b)- ECG com 90 bpm.



Fonte: o autor.

Figura 4(c)- ECG com 120 bpm.



Fonte: o autor.

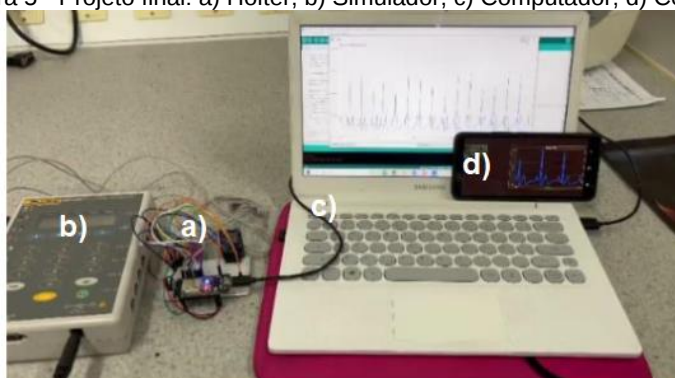
A figura 4(a) representa o gráfico anterior a aplicação da programação do filtro digital, por isso existem vários artefatos de interferência de rede, sendo impossível distinguir as ondas P, Q, R, S, T, U do ECG. Portanto, a mesma foi utilizada como referência para análises posteriores. A figura 4(b) foi aplicado 90 bpm e a 4(c) foi aplicado 120 bpm no Simulador Multiparâmetro MPS450 da Fluke Biomedical. Comparando as figuras 4(b) e 4(c) com a 4(a) é possível verificar a diminuição significativa dos ruídos. Ao comparar a figura 4(b) com 4(c), foi constatado que não diminuiu a eficiência de filtragem do ruído, fornecendo uma imagem nítida do ECG.

Com o holter funcionando adequadamente, foi necessário verificar o funcionamento também do aplicativo. Para isso, foi feito o *download* do aplicativo Bluetooth Terminal/Graphics no celular, a ativação do bluetooth e o pareamento do aplicativo com o dispositivo Holter.

Na figura 5, é possível visualizar o funcionamento, onde os eletrodos do Holter (5a) estão captando os sinais transmitidos pelo simulador (5b), o software processando esses dados e plotando graficamente no computador (5c). Ao mesmo tempo, esses dados estão sendo transmitidos via bluetooth e o aplicativo do celular (5d) ao receber esses dados, realiza a plotagem do gráfico. Com isso, houve a possibilidade de comparar as ondas dos dois gráficos, computador e celular, com finalidade de avaliar as suas similaridades. Foi concluído que não houve discrepância significativa em relação ao tempo de aquisição e transmissão dos dados comparando os dois gráficos.

Após esses testes, foi retirado o cartão MicroSD para inserir no computador e verificar se os dados foram salvos com êxito. Foi verificado que todos os dados que o sensor ECG fez a leitura estavam salvos no MicroSD.

Figura 5- Projeto final: a) Holter; b) Simulador; c) Computador; d) Celular.



Fonte: o autor.

Conclusão

O projeto de um Holter com a interface que possibilita o paciente ver e monitorar sua atividade cardíaca durante as 24 horas em sua rotina, é algo que proporciona a ele um sentimento de curiosidade, conhecimento, confiança e inclusão.

Analisando os resultados obtidos, conclui-se que é possível obter um Holter 24h com dispositivos acessíveis, sem ruídos e artefatos de interferência de rede, com bom processamento, transmissão e confiabilidade dos dados e simultaneidade no tempo de resposta entre o aparelho e o celular. Além disso, com um armazenamento seguro dos dados captados.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Sendo assim, além de proporcionar qualidade e rapidez no exame, também possibilita uma proximidade do paciente com o aparelho utilizado.

Referências

ALECRIM, Emerson. Cartões SD e microSD: velocidades, tipos e capacidades. **Infowester**, 2021. Disponível em: <https://www.infowester.com/sd_microsd.php#sd>. Acesso em: 20 Jun. 2023.

AYECHA, Laila. ECG Graph is not coming proper. **Forum Arduino.cc**, 2022. Disponível em: <<https://forum.arduino.cc/t/ecg-graph-is-not-coming-proper/1014772>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

Doenças cardiovasculares são responsáveis por cerca de 30% das mortes no Brasil. **Visão Hospitalar**, 2021. Disponível em: <<https://revistavisaohospitalar.com.br/doencas-cardiovasculares-sao-responsaveis-por-cerca-de-30-das-mortes-no-brasil/>>. Acesso em: 22 abr. 2023.

ECG Monitoring system using AD8232 with Arduino or ESP32 IOT Based. **CircuitSchools**, 2022. Disponível em: <<https://www.circuitschools.com/ecg-monitoring-system-using-ad8232-with-arduino-or-esp32-iot-based/>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

1. ESP32: Guide for MicroSD Card Module using Arduino IDE. **Random Nerd Tutorials**, 2021. Disponível em: <<https://randomnerdtutorials.com/esp32-microsd-card-arduino/#intromicrosdcard>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

2.

3. FILHO, Adalberto, *et al.* **Recomendações da Sociedade Brasileira de Arritmias Cardíacas para Serviços de Holter**. Sociedade Brasileira de Arritmias Cardíacas (SOBRAC), Santana de Parnaíba, v. 101, n. 2, p. 101-105, outubro de 2013. Disponível em: <<https://sobrac.org/home/wp-content/uploads/2014/07/artigo-holter.pdf>>.

GUEDES, Mylena. No Brasil, mais de 230 mil pessoas morreram por doenças cardiovasculares em 2021. **CNN Brasil**, Rio de Janeiro, 29 set. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/>>. Acesso em: 22 abr. 2023.

MULAI, Elias Manuel Quingongo. **Anatofisiologia Cardíaca**. 2019. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biomédicas, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2019.

NERY, Gustavo. Filtro Digital no Arduino. **Eletrogate**, 2022. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/filtro-digital-no-arduino/>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

NETO, Amador. IDE Arduino. **Wiki ADA**, 2021. Disponível em: <<http://adaec.icmc.usp.br/wiki/ide-arduino>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

REIS, Helder, *et al.* **ECG - Manual Prático de Eletrocardiograma**. Atheneu, São Paulo, p. 1-121, 2013. Disponível em: <<http://ole.uff.br/wp-content/uploads/sites/419/2019/04/ECG-Manual-Pr%C3%A1tico-de-Eletrocardiograma-HCor.pdf>>.

ROCHA, Joel Soares Pinto da. **Metodologias e Ferramentas da Gestão da Manutenção e da Metrologia numa Unidade Hospitalar**. 2014. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Computação e Instrumentação Médica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2014.