http://journal.unoeste.br/index.php/ce/index
DOI: 10.5747/ce.2022.v14.n1.e384
ISSN on-line 2178-8332

Colloquium Exactarum

Submetido: 27/05/2021 Revisado: 10/02/2022 Aceito: 06/04/2022

MICROcardio - UM DISPOSITIVO PARA COLETA E ANÁLISE DE SINAIS CARDÍACOS

MICROcardio - A DEVICE FOR THE COLLECTION AND ANALYSIS OF CARDIAC SIGNS

Wellington Lima Salomão[1], Almir Olivette Artero[1], Felipe Ribeiro[2],Luiz Carlos Marques Vamderlei[2], Maurício Araújo Dias[1], Francisco Assis da Silva[3]

[1] Universidade Estadual Paulista – UNESP, Departamento de Matemática de Computação, Presidente Prudente, SP
[2] Universidade Estadual Paulista – UNESP, Departamento de Fisioterapia, Presidente Prudente
[3] Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Faculdade de Informática de Presidente Prudente, UNOESTE -, Presidente Prudente, SP
E-mail: wellingtonsalomao@hotmail.com, almir.artero@unesp.br, ma.dias@unesp.br, felipe.ribeiro1@unesp.br, lcm.vanderlei@unesp.br, chico@unoeste.br

RESUMO – O Eletrocardiograma continua sendo um exame muito importante ao cardiologista, pois consiste em um exame simples e de baixo custo para se obter um primeiro diagnóstico do coração. Entretanto, o custo dos equipamentos comerciais ainda impossibilita a sua utilização em diversos locais. Assim, este trabalho apresenta um dispositivo de baixo custo, chamado MICROcardio, construído com um microcontrolador, que também disponibiliza uma conexão com um computador, de modo a permitir a visualização dos sinais na tela e também impressos, além da possibilidade de apoiar o seu compartilhamento por diferentes profissionais, usando a Internet. Os resultados obtidos nos experimentos realizados com o MICROcardio foram comparados, por especialistas da área médica, com os obtidos por dispositivos comerciais e, se mostraram totalmente satisfatórios.
Palavras-chave: Eletrocardiógrafo, Eletrocardiograma, ECG, Microcontroladores, Hardware.

ABSTRACT – The Electrocardiogram remains a very important exam for the cardiologist, as it is a simple and low-cost exam to obtain a first diagnosis of the heart. However, the cost of commercial equipment still makes it impossible to use it in many places. Thus, this work presents a low-cost device, called MICROcardio, built with a microcontroller, which also provides a connection to a computer, in order to allow the visualization of the signals on the screen and also printed, in addition to the possibility of supporting their sharing. by different professionals, using the Internet. The results obtained in the experiments carried out with the MICROcardio were compared, by specialists in the medical field, with those obtained by commercial devices, and proved to be completely satisfactory.
Keywords: Electrocardiograph, Electrocardiogram, ECG, Microcontrollers, Hardware.

1. INTRODUÇÃO

A medicina tem passado por vários avanços nos últimos anos, com a introdução de equipamentos complexos que permitem a realização de exames cada vez menos invasivos, como o Ultrassom (SALINET Jr, 2009), a Ressonância Magnética (HAGE ET AL., 2009;WESTBROOK; TALBOT, 2021) e a Tomografia Computadorizada (AMARO JUNIOR; YAMASHITA, 2001;FUKUMORI, 2020), que são capazes de gerar informações precisas sobre os órgãos internos do corpo humano. Ainda assim, o eletrocardiograma, desenvolvido no século 18, continua sendo uma importante ferramenta para diagnosticar doenças e alterações cardíacas (GORDON, 1997). De fato, este exame consegue fornecer ao profissional da área médica uma boa informação sobre o ritmo de funcionamento do coração. Entretanto, mesmo após terem ocorridos enormes avanços na eletrônica, o custo destes equipamentos continua sendo alto e, ainda é comum encontrar dispositivos muito antigos sendo usados para realizar este exame. Na maioria das vezes, estes dispositivos não possuem capacidade de armazenar ou analisar estes dados, limitando-se apenas a imprimir os resultados em uma fita de papel a ser analisada pelos médicos. Entretanto, o avanço das telecomunicações tem tornado possível que profissionais da saúde possam se comunicar a longas distâncias, compartilhando exames e diagnósticos e, deste modo, torna-se cada vez mais necessário que os dados de um eletrocardiograma possam ser armazenados digitalmente, para serem processados por um computador e, até mesmo transmitidos para outros locais, usando a rede mundial de computadores (Internet). Assim, este trabalho apresenta o MICROcardio, um dispositivo completo para a coleta e análise do ECG (eletrocardiograma) (THALER, 1997; STEIN, 2001), totalmente construído a partir de componentes de baixo custo (baseado em microcontroladores), com precisão equivalente aos sistemas comerciais de custo mais elevado e que, além de coletar os sinais, também realiza o seu armazenamento digital e, ainda permite a sua transmissão pela Internet.

As demais seções deste trabalho estão organizadas da seguinte maneira; Na Seção 2 é apresentada uma revisão dos conceitos da estrutura e função cardíaca; Na Seção 3 são apresentados alguns equipamentos comerciais utilizados na avaliação cardíaca; A Seção 4 revisa alguns conceitos da arquitetura dos microcontroladores; Na Seção 5 é apresentada a solução proposta neste trabalho; Na Seção 6 são apresentados alguns resultados obtidos em um estudo comparativo, usando o protótipo desenvolvido e dois equipamentos comerciais; Por fim, na Seção 7 são apresentadas algumas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DOS CONCEITOS DA ESTRUTURA E FUNÇÃO CARDÍACA

2.1 Princípios do Eletrocardiograma

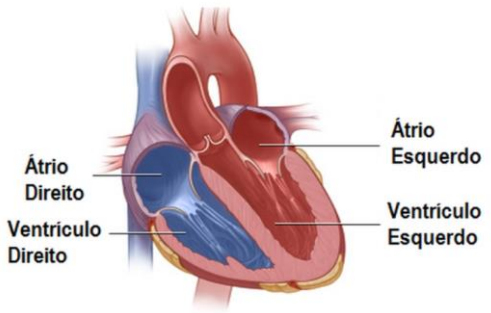
O ECG é bastante usado como um exame clínico, sendo empregado para confirmar diagnósticos e, também extremamente importante para determinar o manejo com o paciente. Trata-se de um exame essencial para avaliar os ritmos cardíacos anormais, causas de dor torácica, causas de dispnéia e falta de ar (STEIN, 2001).

A interpretação do resultado do exame ECG é baseada no reconhecimento de padrões, que podem ser analisados a partir de poucas regras. De fato, a atividade elétrica do coração se dá a partir da contração dos músculos cardíacos, estando associada com as alterações elétricas, chamadas despolarização/repolarização, podendo ser detectada por eletrodos colocados na superfície da pele. Para a coleta de um sinal livre de ruídos é importante que o paciente fique com o corpo relaxado, ou seja, nenhum músculo esquelético contraído, para que prevaleçam apenas as contrações do músculo cardíaco (HAMPTON, 2000;HAMPTON, 2014).

2.2 Princípios de Funcionamento do Coração

O coração possui quatro câmaras, sendo duas câmaras chamadas de átrios (Esquerdo e direito) e duas câmaras chamadas de ventrículos (Esquerdo e direito). Do ponto de vista elétrico, pode-se considerar que ele tem somente duas câmaras, pois os dois átrios se contraem juntos, logo após os dois ventrículos também se contraírem juntos (HAMPTON, 2000). A Figura 1 mostra estas câmaras.

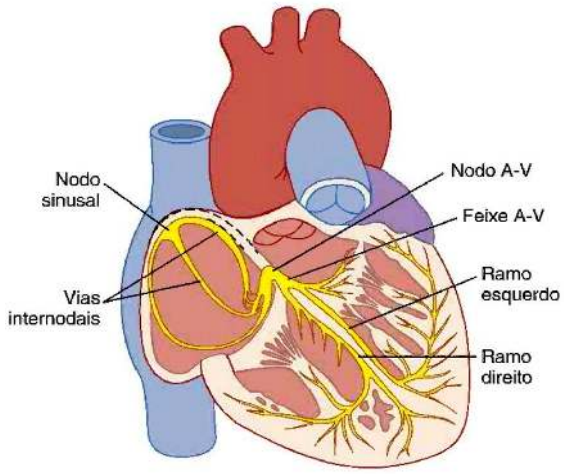
Figura 1. Átrios e Ventrículos do coração.



Fonte: [Hall, 1946].

A Figura 2 mostra que existe uma área específica do átrio direito, chamado Nodo Sinoatrial (SA) ou Sinusal, que inicia a descarga elétrica de cada ciclo cardíaco e, por meio das fibras musculares atriais, se propaga a despolarização, havendo um retardo até chegar ao nodo atrioventricular, também chamado de Nodo A-V ou simplesmente Nodo, sendo ele ainda uma área específica do átrio direito (DUBIN, 1996).

Figura 2. Diagrama do Sistema de condução do coração



Fonte: (HALL, 1946).

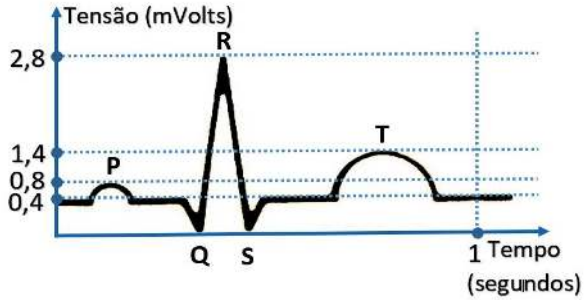
Em seguida, a descarga elétrica é conduzida através do tecido especializado de condução de uma forma muito rápida, inicialmente, por uma via única conhecida como Feixe de His, também chamado de Feixe A-V. Posteriormente, a descarga elétrica se divide ao nível do Septo Interventricular, tendo direções no lado direito e no lado esquerdo, sendo que a descarga elétrica que toma direção no lado esquerdo também se divide em dois caminhos. Nos ventrículos, dentro da massa muscular, a condução se propaga um pouco mais devagar, sendo o tecido especializado conhecido como fibras de Purkinje, responsável por esta condução (HAMPTON, 2000).

O ritmo normal do coração chamado de ritmo sinusal se dá pelo nodo SA local que controla a sequência de ativação elétrica, porém, nem sempre essa ativação elétrica se dá a partir do nodo SA (STEIN, 2001).

2.3 O Formato do Eletrocardiograma

Os sinais elétricos detectados na pele indicam o ritmo cardíaco. Em relação à massa muscular dos ventrículos, a massa muscular dos átrios é pequena, sendo também pequena a alteração elétrica que acompanha a sua contração, chamada de onda P, no sinal gerado a partir da contração atrial no ECG (STEIN, 2001), conforme mostra a Figura 3.

Figura 3. Deflexões P, Q, R, S e T.



Fonte: (HAMPTON, 2000).

Por outro lado, quando os ventrículos (de grande massa ventricular) são despolarizados, e se contraem, ocorre uma grande deflexão no ECG, sendo chamada de complexo QRS. Por último, é gerada a onda T do ECG, que representa a repolarização dos ventrículos. As partes do complexo QRS são denominadas da seguinte forma:

1) Se a primeira deflexão é negativa, ela é chamada de onda Q;

2) A deflexão positiva é chamada de onda R, precedida ou não por uma onda Q;

3) Qualquer deflexão abaixo da linha de base que seque a onda R é denominada de onda S, havendo ou não uma onda Q precedente.

2.4 Derivações do Eletrocardiograma

2.4.1 Derivações Bipolares

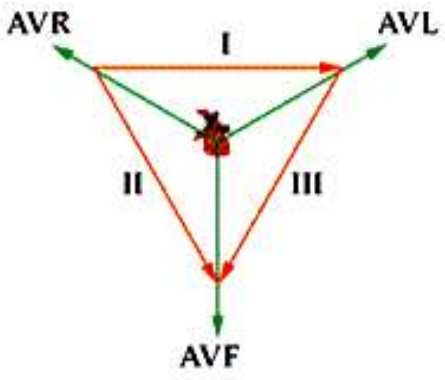
Idealizadas por Willem Einthoven, derivações bipolares, são as clássicas derivações do eletrocardiograma, pois registram a diferença de potencial (DDP) entre dois eletrodos localizados em diferentes membros, sendo elas (DUBIN, 1996):

1) DDPI: Diferença de potencial entre braço direito e braço esquerdo.
2) DDPII: Diferença de potencial entre braço direito e a perna esquerda.
3) DDPIII: Diferença de potencial entra o braço esquerdo e a perna esquerda.

2.4.2 Derivações Unipolares

As derivações unipolares registram a diferença de potencial entre um ponto no centro de um triangulo com valor terra (0 volts) (Figura 4). Foram denominadas VR, VL e VF, onde a letra V significa vetor (vector), R, L, F significam direita (right), esquerda (left) e pé (foot) (DUBIN, 1996), como mostra a Figura 4. Posteriormente, representando a amplitude foi adicionada a letra **A**, ficando assim:
1) AVR - Potencial absoluto do braço direito;
2) AVL - Potencial absoluto do braço esquerdo;
3) AVF - Potencial absoluto da perna esquerda.

Figura 4. Derivações.

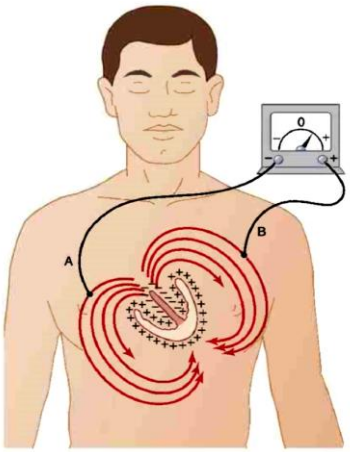


Fonte: (DUBIN, 1996).

2.5 Registro do Eletrocardiograma

O registro se dá a partir do impulso cardíaco do coração que gera uma corrente elétrica, que se propaga pela superfície do corpo. Posicionando sensores sobre a pele em lados opostos do coração, é possível registrar potenciais elétricos como mostra a Figura 5. Alisando esse registro por um período de tempo ele é chamado de eletrocardiograma (HALL. 1946).

Figura 5. Potencial elétrico

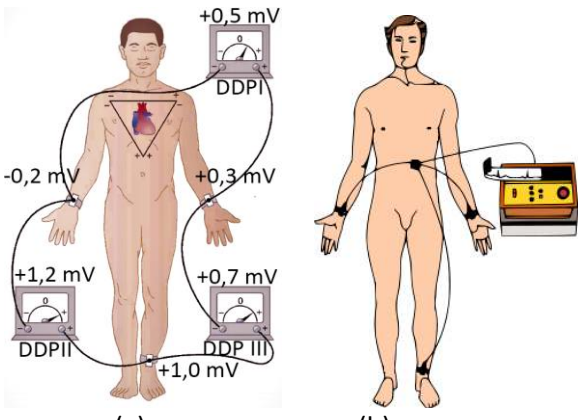


Fonte: (HALL, 1946).

Como mostra a Figura 6(a), é possível definir diferentes maneiras de se medir o potencial elétrico, sendo que para cada posição analisada, deve-se usar uma derivação diferente (disposição dos sensores na pele). Assim cada derivação permite obter um resultado de diferente ponto de vista do coração, algumas vezes utilizado para representar os fios que conectam o paciente ao equipamento do eletrocardiograma como mostra a Figura 6(b).

Conforme mostra a Figura 6(b), o sinal elétrico do coração, que atravessa a superfície do corpo, é detectado por meio de eletrodos ligados ao aparelho ECG. Cada eletrodo é colocado em um membro diferente do corpo, sendo necessário um bom contato entre os eletrodos e a pele do corpo. Para melhorar o contato, é comum usar um gel condutor aplicado na pele, podendo até ser necessário depilar a parte do corpo onde deve ser colocado o eletrodo (HALL, 1946).

Figura 6 – a) Níveis de potenciais elétricos (HALL, 1946); **b)** Posição dos sensores durante a coleta de sinais.



(a) (b)

Fonte: (ALVES, 2013).

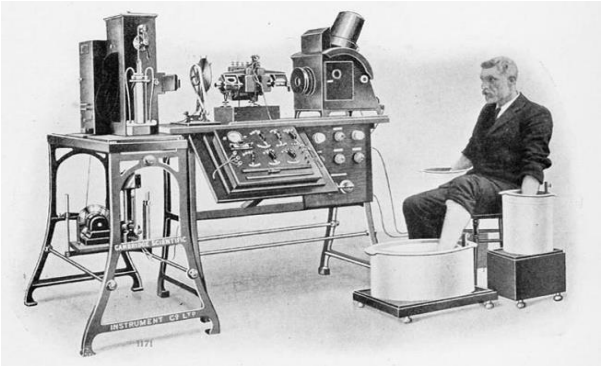
O funcionamento do coração é analisado por diferentes derivações, por meio de registro elétrico detectado nos diferentes eletrodos. Como exemplo, a derivação DDPI é responsável por comparar os eventos elétricos detectados pelos eletrodos que estão colocados nos membros superiores direito e esquerdo.

É de extrema importância que os eletrodos sejam conectados corretamente em cada ponto, satisfazendo cada derivação, sendo que cada derivação possui seu cabo específico. Cada cabo é devidamente rotulado para que não ocorram enganos no posicionamento da derivação com o membro do corpo, sendo as especificações do cabo BE e BD conectados aos braços esquerdo e direito, e PE conectado a perna esquerda. Nos casos em que os eletrodos são conectados de maneira incorreta, os registros ficam completamente comprometidos.

3. EQUIPAMENTOS USADOS NO ECG

Na antiguidade, a eletrocardiografia era realizada a partir de um paciente que precisava colocar os dois braços e a perna esquerda dentro de bacias com uma solução condutora (água + sal) e, a partir daí, o sinal era gerado com a aplicação de eletrodos conectados diretamente as bacias, como mostra a Figura 7 (STEIN, 2001).

Figura 7. Exame realizado para aquisição do sinal.



Fonte: (STEIN, 2001).

De fato, naquela época, era muito difícil construir dispositivos com capacidade de operar com correntes e voltagens tão baixas. Os equipamentos desenvolvidos pesavam em torno de 270 kg e utilizavam um galvanômetro de corda para a amplificação do sinal. O resultado, como mostra a Figura 8, não tinham boa precisão nas deflexões, porém, atendiam as expectativas da época [TORRES ,2009].

Figura 8. Registro do eletrocardiograma com galvanômetro de corda.

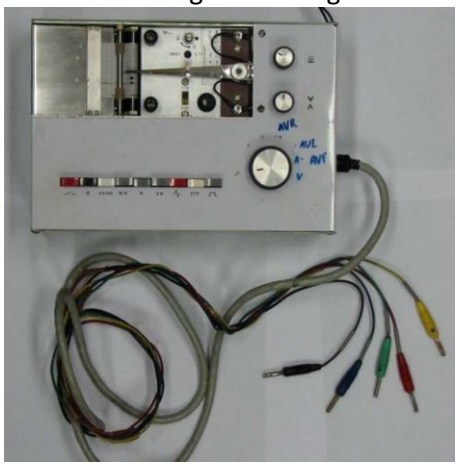


Fonte: [TORRES,2009].

3.1 Eletrocardiógrafos Analógicos

Dispositivos analógicos são aqueles que amplificam o sinal elétrico cardíaco de forma linear, e registram o sinal de forma contínua, em função do tempo, em uma fita de papel. Alguns possuem filtros para eliminar os ruídos causados pela rede elétrica de alimentação, e também ruídos causados pelos demais músculos. A Figura 9 mostra um eletrocardiógrafo analógico comercial (HALL, 1946).

Figura 9. Eletrocardiógrafo Analógico Comercial.



Fonte: Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/12402/12402_4.PDF.

3.2 Eletrocardiógrafos Digitais

Dispositivos digitais possuem um circuito de processamento, em que os registros podem ser visualizados por displays LCDs, além de uma impressora, que apresenta o resultado em uma fita de papel. Normalmente, eles também possuem filtros para eliminar os ruídos causados pela rede elétrica de alimentação, e também os ruídos causados pelos demais músculos. A Figura 10 mostra um eletrocardiógrafo digital fabricado pela ECAFIX FUNBEC (http://loja.ecafix.com.br), com um preço de R$ 4.507,74 em Nov/2019.

4. MICROCONTROLADORES

Microcontroladores são dispositivos que facilitam bastante a construção de dispositivos com

necessidades de processamento de dados, pois embutem em um único chip um processador (CPU), memórias (RAM, FLASH e Eprom), conversores Analógico/Digital, contadores de tempo e pinos de entrada/saída, que permitem o recebimento e o envio de dados. Todos estes componentes formam um pequeno computador embutido em um chip, que tem o seu funcionamento controlado por um programa gravado em sua memória Flash (ZANCO, 2006).

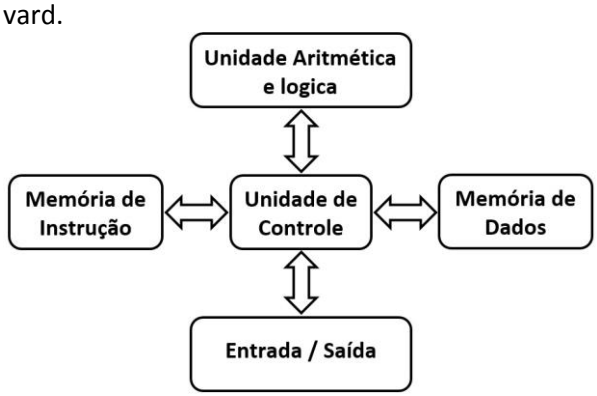
Figura 10. Eletrocardiógrafo Digital ECAFIX FUNBEC.



Fonte: Disponível em <http://ecafix.com.br/>.

Entre os microcontroladores mais conhecidos estão os microcontroladores ATmega, que são fabricados pela Microchip Technology, usando a arquitetura RISC baseada na arquitetura de Harvard, apresentada na Figura 11. Com esta arquitetura, o processamento fica mais rápido, pois a memória de dados e a memória de instruções são separadas e, portanto, utilizam diferentes barramentos, permitindo que a unidade de controle acesse as duas memórias simultaneamente. (STALLINGS, 2010).

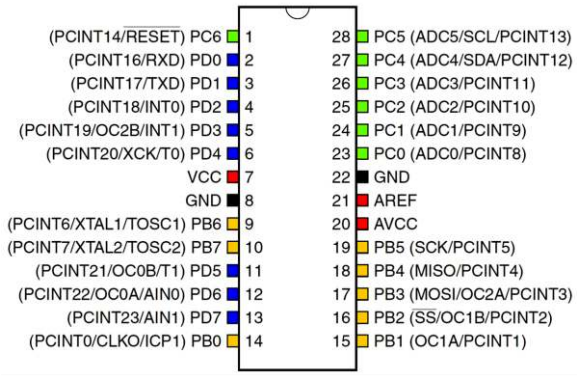
Figura 11. Representação da Arquitetura de Harvard.



Fonte: Autor.

A Figura 12 apresenta a pinagem do microcontrolador ATmega 328P-PU, usado neste trabalho. Os pinos na cor verde (PC0 a PC6) correspondem às portas analógicas, observando que o PC6 tem função dupla, podendo também ser utilizado para resetar o microcontrolador. Os pinos na cor azul (PD0 a PD7) representam as portas digitais, observando que PD0 e PD1 também são usados para comunicação RX e TX. Os pinos na cor amarelo (PB0 a PB7) são utilizado para o cristal, que gera uma frequência de 16 MegaHertz e as portas com sinais PWM. Por fim, os pinos na cor vermelha (VCC, GND, AREF e AVCC) e preta são utilizados para a alimentação do microcontrolador, que trabalha com tensões entre 1,8 e 5,5 Volts (BORGES, 2012), (MONK, 2017).

Figura 12. Microcontrolador ATmega328P-PU.



Fonte: Disponível em: http://ww1.microchip.com/.

4.1 Programação do Microcontrolador

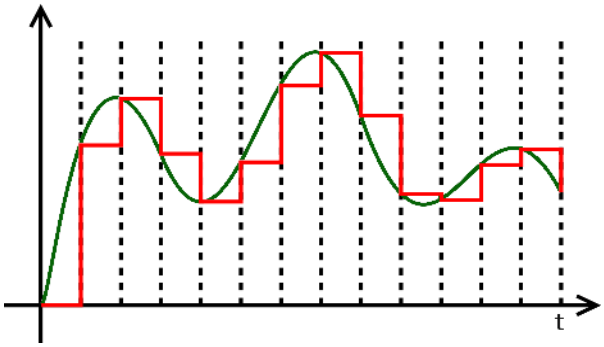
Para que o microcontrolador possa desempenhar as suas funções, ele precisa ser programado, usando as suas instruções. Com a disponibilização de compiladores para gerar código para os microcontroladores, tem se tornado cada vez mais comum o uso de linguagens de alto nível para a programação destes dispositivos, deixando a programação em Assembly restrita a códigos muito específicos (PEREIRA, 2003). De fato, a programação usando a linguagem C proporciona uma grande simplificação no processo de criação de novos projetos (PEREIRA, 2003). Após a compilação, o código é gravado no microcontrolador, sendo neste trabalho usado um gravador comercial.

4.2 Conversão A/D

O conversor de sinal analógico para digital, chamado de Conversor A/D, transforma um sinal (níveis de tensão) contínuo no tempo, em um sinal amostral, dentro de um número finito de valores inteiros (quantização), sendo este número padronizado a partir da característica do conversor em bits (8, 10, 12, 16 etc). Assim, um con-

versor de 8 bits atribui em sua saída, níveis de sinais digitais com valores entre 0 e 2^8-1 (0 à 255) (CAPUANO, 2012; RANHEL, 2021). A Figura 13 mostra em verde o sinal analógico contínuo no tempo e, em vermelho, tem-se o sinal digital dentro de um número finito de valores inteiros.

Figura 13. Sinal Digital e Analógico.



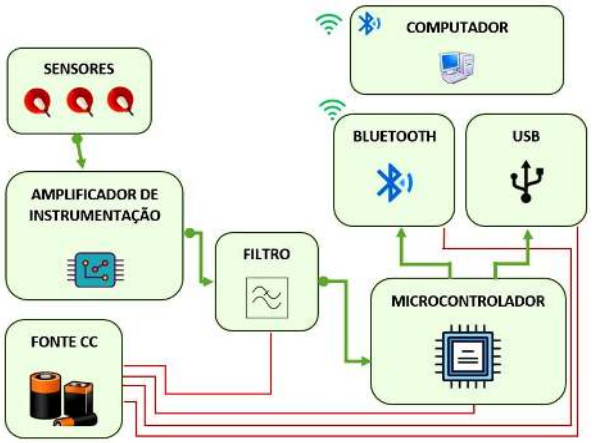
Disponível em:https://www.embarcados.com.br/conversor-a-d/.

Para se obter precisão nas conversões, recomenda-se o uso de conversores com maiores quantidades de bits. Entretanto, com 8 bits já se consegue uma precisão razoável. Por exemplo, a leitura de um aparelho leitor de CDs, considerada de excelente qualidade, utiliza-se de 16 bits. Outro aspecto importante é que os conversores A/D, geralmente, são projetados para converter sinais dentro de uma faixa bem definida, como por exemplo, valores entre 0 e 5 volts e, assim, dificilmente se enquadram diretamente à variações de tensões analógicas que precisam ser convertidas e, tornando-se necessário realizar o condicionamento dos sinais, com auxílio de circuitos auxiliares. Os conversores A/D podem ser implementados usando circuitos integrados dedicados ou ainda, podem ser encontrados embutidos dentro de microcontroladores, como é o caso do microcontrolador ATmega328P-PU, usado neste trabalho, que possui em seu interior, um conversor A/D de 10 bits, que permite uma leitura de sinais com 2^{10} = 1.024 níveis, o que proporciona uma excelente precisão nas leituras.

5. DISPOSITIVO PARA COLETA E ANÁLISE DE SINAIS CARDÍACOS MICROcardio

O dispositivo proposto neste trabalho, chamado MICROcardio, consiste em um equipamento de baixo custo, que é capaz de coletar, de forma satisfatória, os sinais elétricos do coração. A Figura 14 mostra o diagrama de blocos do MICROcardio.

Figura 14. Diagrama de blocos do MICROcardio.



Fonte: Autor.

Devido ao seu baixo consumo, o MICROcardio é alimentado com apenas duas baterias de 9V, totalizando 18 volts, que são usados para se obter as tensões necessárias ao circuito (+12V, +6V, -6V, +5V e +3.3V). O amplificador de instrumentação usa as tensões -6V e +6V, o microcontrolador ATmega328P-PU e a porta USB2.0 usam a tensão de +5V. Por fim, o modulo Bluetooth é alimentado por uma tensão elétrica de +3.3V. Estes blocos do diagrama são descritos em seguida.

Observa-se que o micro controlador trabalha com a tensão de 5V, que é ajustada utilizando um circuito analógico, tento como base um regulador de tensão, que apresenta alta precisão. O Consumo médio do dispositivo é de apenas 0,8 Watts, o que torna viável a sua alimentação através de baterias e, assim, deixa o dispositivo totalmente portátil por não precisar ser ligado a uma tomada da rede elétrica.

5.1 Sensores (Eletrodos)

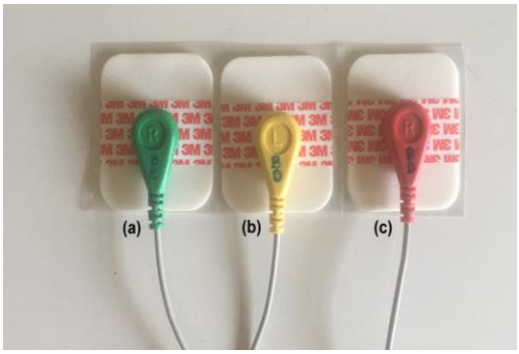
O MICROcardio recebe os sinais elétricos coletados pelos eletrodos através de três condutores isolados. A Figura 6(a) mostra alguns exemplos de valores de tensão elétrica adquiridos pelos eletrodos no corpo do paciente, e se observa que estão variando ao redor de 1 mV.

No MICROcardio, a coleta do sinal é feita utilizando três eletrodos, apresentados na Figura 15. Em (a) tem-se o eletrodo verde, que deve ser fixado no braço esquerdo. Em (b), o eletrodo amarelo, que deve ser fixado no braço direito. Por fim, em (c), tem-se o eletrodo vermelho é fixado na perna esquerda.

O Hardware adotado no MICROcardio pode operar com mais canais, entrretanto, com apenas os três canais usados, é possível a identificação

das deflexões P,Q,R,S e T, como mostram os experimentos realizados. Com a adoção de mais canais é possível também analisar os resultados de ângulos diferentes.

Figura 15. Eletrodos usados no MICROcardio.

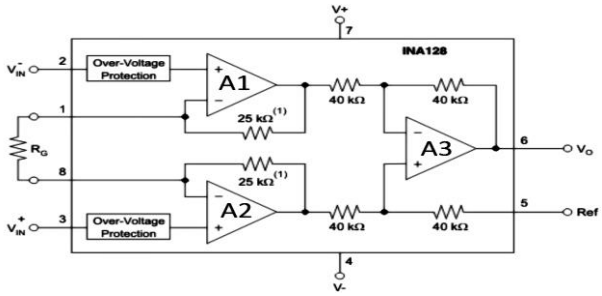


Fonte: Autor.

5.2 Amplificador de Instrumentação

Como os sinais elétricos que chegam dos eletrodos são muito baixos, estando na casa dos miliVolts, a amplificação do sinal é de extrema importância para se realizar o condicionamento do sinal analógico, de modo que ele possa ser processado nas demais etapas do circuito. O amplificador usado gera uma amplificação no sinal de 200 vezes, assim, com uma entrada de 1,5 miliVolts tem-se em sua saída 0,3 Volts. Para o desenvolvimento deste módulo, foi utilizado o amplificador de instrumentação INA 128 devido à sua precisão e confiabilidade, pois ele já possui três amplificadores operacionais. Na Figura 16 tem-se o diagrama de sua configuração, que mostra três amplificadores operacionais sendo usados para comparar e amplificar os sinais de entrada. Os amplificadores A1 e A2 são responsáveis pela amplificação dos sinais, enquanto que o amplificador A3 é responsável pela comparação dos sinais. Observa-se também que este amplificador utiliza resistores de precisão, que colaboraram para a sua alta precisão.

Figura 16. Amplificador de Instrumentação INA128.



Fonte: Disponível em: http://www.ti.com/ product/INA128.

5.3 Filtro

Este módulo tem por finalidade manter apenas as frequências abaixo de 10 hertz, filtrando as frequências acima dos 10 hertz, que são decorrentes dos ruídos gerados por diferentes fontes, que interferem nas leituras. O Hardware adotado é composto por um filtro passivo composto por um capacitor de poliéster 150ηF e resistor de 100Ω. Embora possam ser inseridos filtros digitais para uma maior acondicionamento dos sinais, neste projeto não são empregados tais filtros, nem pelo micro controlador, após a conversão do sinal analógico para o sinal digital e, nem pelo software usado no traçado do ECG.

5.4 Microcontrolador

No MICROcardio, o sinal é introduzido no microcontrolador através da porta analógica PC0, que opera com uma variação de tensão elétrica de 0 à 5 Volts, e conta com conversor A/D de 10 bits responsável pela conversão do sinal analógico para um sinal digital, com valores variando entre 0 e 1023. Deste modo, a variação de cada valor digital é correspondente a 4.88 miliVolts na entrada analógica, o que proporciona uma excelente precisão no resultado. Observa-se ainda que existe uma grande quantidade de microcontroladores no mercado atual e, a escolha do ATmega328P-PU neste projeto foi direcionada pelo seu custo acessível e a sua capacidade de atender todas as necessidades deste projeto.

5.5 Bluetooth

Este módulo permite que as informações coletadas pelo MICROcardio possam ser enviadas a um computador, para sem processadas e, ocasionalmente, compartilhadas usando a Internet. Após a conversão do sinal analógico para o formato digital no microcontrolador, o sinal é enviado pelas portas digitais PD0 e PD1 do microcontrolador, que são responsáveis pela comunicação RX e TX do sinal convertido, para o módulo Bluetooth, que por sua vez encaminha o sinal para um computador nas proximidades, dentro do alcance de comunicação do Bluetooth, que pode chegar aos 100 metros.

5.6 USB

O uso da porta USB proporciona um caminho alternativo para enviar as informações ao computador. Neste caso, basta conectar o MICROcardio ao computador, usando um cabo USB, para que se estabeleça uma comunicação entre eles.

5.7 Computador

Para que ocorra a comunicação entre o MICROcardio e um computador (ou algum dispositivo móvel), é preciso que este esteja executando um programa para estabelecer esta comunicação, e receber as informações do sinal. Este programa também é o responsável por gerar o gráfico ECG na tela do computador. Em seguida, o gráfico gerado pode ser salvo uma imagem no formato PNG e, ocasionalmente, compartilhado com outros dispositivos locais ou remotos, via Internet. O programa no computador também gera um documento no formato texto com os valores do sinal digital coletado pelo MICROcardio, o que pode ser usado para análises mais específicas manuais ou usando outros programas.

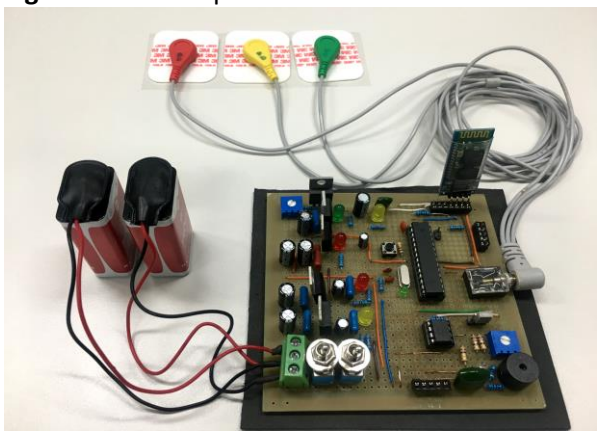
Durante os experimentos, foi utilizado um notebook, porém, também pode ser um desktop com um adaptador usb Bluetooth. A linguagem utilizada foi o Python, usando a biblioteca matplotlib, que simplifica a geração do gráfico do ECG.

O Microcontrolador envia o sinal ao modulo Bluetooth usando o protocolo RS-232 através das portas TX/RX e, no computador não é preciso utilizar nenhuma biblioteca especifica, bastando utilizar a porta de comunicação serial criada pelo Bluetooth

O programa implementado não possui interface com o usuário e, uma vez executado, gera o gráfico no decorrer do tempo do exame, permitindo que no final, o usuário possa salvar o resultado.

A Figura 17 apresenta o protótipo do MICROcardio, que tem um custo aproximado de R$ 120,00.

Figura 17. Protótipo do MICROcardio.



Fonte: Autor.

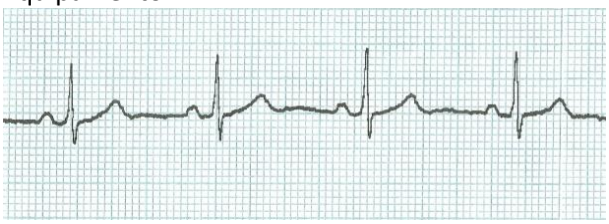
6. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Para avaliar o desempenho do MICROcardio foram realizados alguns exames do ECG em um mesmo indivíduo, usando dois dispositivos comerciais e o MICROcardio. Os exames foram realizados na clínica do departamento da Fisioterapia da FCT-UNESP.

6.1. Experimento 1

O equipamento 1 é o eletrocardiógrafo ECG 6 fabricado pela ECAFIX FUNBEC, que imprime o resultado em uma fita de papel termo sensível, pois ele conta com uma impressora térmica. Este equipamento é encontrado no mercado a um valor de R$ 4.507,74 (Novembro de 2019). A Figura 18 mostra uma parte do resultado do eletrocardiograma realizado com este equipamento.

Figura 18. Eletrocardiograma obtido usando o Equipamento 1.



Fonte: Autor.

6.2 Experimento 2

O equipamento 2 é o eletrocardiógrafo digital ECP-PC fabricado pela TEB – Tecnologia Eletrônica Brasileira, que permite salvar o resultado em um arquivo no formato PDF e, posteriormente, impresso usando um computador. Este equipamento é encontrado no mercado a um custo de aproximadamente de R$ 7.000,00 (Novembro de 2019). A Figura 19 mostra uma parte do resultado do eletrocardiograma do voluntário realizado com este equipamento.

Figura 19. Eletrocardiograma Equipamento 2.



Fonte: Autor.

6.3 Experimento 3

O equipamento 3 é MICROcardio, proposto neste trabalho, que foi utilizado no mesmo paciente e, os resultados obtidos deixam claro a presença da onda P, complexo QRS e onda T, conforme ilustrado na Figura 3, que exemplifica o traçado destas deflexões P,Q,R,S e T.

Na Figura 20 observa-se em verde o sinal obtido pelo MICROcardio sem o uso do filtro, em que se nota um ruído. Em azul está o sinal filtrado, e se nota uma melhora no sinal, pois o ruído no sinal tende a dificultar o reconhecimento das deflexões P, Q, R, S e T.

Figura 20. Eletrocardiogramas obtidos usando o MICROcardio com e sem o filtro.



Fonte: Autor.

Como mostra a Figura 21, com o uso do filtro (em azul), a presença de ruído é reduzida, deixando mais claro o reconhecimento das deflexões P, Q, R, S e T.

Figura 21. Resultado final com MICROcardio.



Fonte: Autor.

Uma característica importante no desenvolvimento do MICROcardio é a sua alimentação totalmente baseada em uma bateria de 9 volts, que torna o seu uso totalmente seguro, já que elimina completamente a necessidade de uma alimentação pela rede elétrica (127 volts).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se verificar que a presença do filtro é importante para a retirada de ruídos do sinal, de modo a gerar eletrocardiograma de boa qualidade para uma análise das deflexões P, Q, R, S e T. Apesar do MICROcardio ser um dispositivo de baixo custo, nota-se que com a presença de uma eletrônica moderna, com CIs que substituem circuitos complexos com extrema precisão, se consegue obter um dispositivo de boa acurácia, que pode ser utilizado em um maior número de consultórios médicos, após a sua devida aprovação por agências reguladoras (INMETRO, ANVISA).

Por gerar uma imagem no final do exame, que pode ser compartilhada pela rede Internet, simplifica-se bastante a sua análise por vários profissionais da saúde, mesmo em diferentes locais, seja através do uso de computadores ou também através do uso de smartphones, contribuindo assim para acelerar e melhorar os diagnósticos.

Além de gerar a imagem do ECG, também é gerado um arquivo texto contendo os valores lidos, de modo que é possível usar programas de análise numérica, para detectar padrões ou anomalias mais complexos.

Além do custo bastante reduzido, quando comparado aos equipamentos comerciais, o MICROcardio consiste também em um aparelho de dimensões bem reduzidas, que lhe permite ser facilmente transportado e não precisa de tomadas elétricas para ser alimentado (eliminando riscos de acidentes elétricos aos pacientes). Por fim, tem como grande vantagem a sua fácil comunicação com computadores ou celulares, usando o Bluetooth, que é um sistema de comunicação presente em diversos dispositivos portáteis ou não.

Em trabalhos futuros deverão ser desenvolvidos aplicativos para dispositivos portáteis para receber o sinal do MICROcardio e gerar um gráfico sem a presença de um computador.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. **Medição de Biopotenciais - O Estado da Arte**. Porto Alegre-RS Publicação, CTA.UFRGS, 2013.

AMARO JÚNIOR, E.; YAMASHITA, E Aspectos básicos de tomografia computadorizada e ressonância magnética. **Brazilian Journal of Psychiatry**, v. 23, suppl. 1, p.2-3, , 2001. https://doi.org/10.1590/S1516-44462001000500002.

BORGES, C. **AVR e Arduino Técnicas e Projetos.** 12. ed. Florianópolis, SC: Clube de Autores,2012.

CAPUANO, F. G.; IDOETA, I. V. **Elementos de Eletrônica Digita**l. 12. ed. São Paulo: Érica, 2012.

DUBIN, D. B. **Interpretação Rápida do ECG**. 12. ed. Rio de Janeiro: Publicações Científicas,1996.

FUKUMORI, B. **Tomografia Computadorizada:** guia prático de exames. [*S.l.*]: Independently Published,2020. 112 p,

GIFFONI, R. T.; TORRES, R. M. Breve história da eletrocardiografia. **Revista Médica Minas Gerais**, n. 20, v. 2, 2010.

GORDON, R. **A assustadora história da medicina**. 7. ed. Rio de Janeiro:Ediouro, 1997.

HAGE, M. C. F. N. S.; IWASAKI, M. Imagem por ressonância magnética: princípios básicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1275-1283, 2009. https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000041.

HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica** Rio de Janeiro: Elsevier, 1946.

HAMPTON, J. R. **Descomplicando o eletrocardiograma**. 3. ed. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

HAMPTON, J. R. **ECG Essencial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 208 p.

MONK, S. **Programação com Arduino:** Começando com Sketches. São Paulo: Bookman, 2017.

PEREIRA, F. **Microcontrolador PIC, Programação em C**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2003.

RANHEL, J. **Eletrônica Digital, Verilog e Fpga.** Clube de Autores, , 2021. 314 p.

SALINET Jr, J. L. **Acionamento de elementos cerâmicos de transdutores de ultra-som:** circuitos de controle, de transmissão e de recepção. 2009. Dissertação (Mestrado) - Unicamp, Campinas,SP, 2009.

STALLINGS, W. **Arquitetura e Organização de Computadore.** 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

STEIN, E. **Análise Rápida dos Eletrocardiogramas**. 3. ed. São Paulo: Manole, 2001.

THALER, M. S. **ECG Essencial:** eletrocardiograma na prática diária**.**, Porto Alegre, RS: Artmed, 1997.

WESTBROOK, C.; TALBOT, J. **Ressonância magnética - aplicações práticas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021. 392 p.

ZANCO, W. S. **Microcontrolador PIC:** técnicas de software e hardware para projetos de circuitos eletrônicos. 2. ed. São Paulo: Érica, 2006.