http://journal.unoeste.br/index.php/ce/index
DOI: 10.5747/ce.2020.v12.n2.e322
ISSN on-line 2178-8332

Colloquium Exactarum

Submetido: 26/06/2020 Revisado: 27/08/2020 Aceito: 04/09/2020

SOLUÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA O MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS, EM TEMPO REAL, FAZENDO USO DE SENSORES E ARDUINO

LOW COST SOLUTION FOR MONITORING VITAL SIGNS, IN REAL TIME, USING SENSORS AND ARDUINO

Alexandre dos Santos Gonsalves; Robson Augusto Siscoutto

Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP.
E-mail: agonsalves@gmail.com

RESUMO - O sistema de monitoramento da saúde se tornou indispensável no tratamento de pacientes, especialmente para quem tem doenças crônicas e precisa de uma observação em tempo real, de médicos e especialistas. Este artigo apresenta uma solução sem fio, de baixo custo, para o monitoramento, em tempo real, de sinais vitais como, batimentos cárdicos, respiração e pressão arterial, fazendo a coleta e enviando os dados para um computador remoto. Durante o desenvolvimento, foi criado um box de sensores sem fio, a partir de sensores, Arduino Nano e bluetooh, onde este box é acoplado ao corpo do paciente, respeitando a flexibilidade e mobilidade do mesmo durante os exercícios físicos. No decorrer do monitoramento, os dados capturados são transmitidos via rede bluetooh. O box utiliza uma bateria para sua alimentação. Após a avaliação, a solução obteve um desempenho e corretude dos dados próximos de 100%, sendo considerado apto para uso. Diversos experimentos foram realizados visando analisar, quantificar e qualificar a solução, sendo discutidos e apresentados nesse artigo.
Palavras-chave: monitoramento de sinais vitais, monitoramento remoto, condições fisiológicas, microcontrolador sem fio, Arduino nano, Bluetooh, sistema móvel.

ABSTRACT - The health monitoring system has become indispensable in the treatment of patients, especially for those who have chronic illnesses and need real-time observation from doctors and specialists. This article presents a low-cost wireless solution for monitoring, in real time, vital signs such as cardiac beats, breathing and blood pressure, collecting and sending data to a remote computer. During development, a wireless sensor box was created, using Arduino Nano and bluetooh sensors, where this box is attached to the patient's body, respecting the patient's flexibility and mobility during physical exercises. During the monitoring, the captured data is transmitted via the bluetooh network.

The box uses a battery for its food. After the evaluation, the solution obtained a performance and correctness of the data close to 100%, being considered fit for use. Several experiments were carried out to analyze, quantify and qualify the solution, being discussed and presented in this paper.

Keywords: vital signs monitoring, remote monitoring, physiological conditions, wireless microcontroller, Arduino nano, Bluetooh, mobile system.

1. INTRODUÇÃO

As doenças que possuem alto índice de mortes estão relacionadas muitas vezes com a falta de exercícios físicos e de acompanhamento médico e, normalmente, são descobertas quando estas já se encontram em um estado avançado. Segundo Sutar, Kothari e Keskar (2013), os fatores que mais contribuem para isso são: a escassez de equipamentos apropriados, funcionários especializados para auxiliar no atendimento médico e o deslocamento do paciente de sua residência em busca de um atendimento específico nos hospitais. Porém, a maior dificuldade ainda é a falta de informação, o que causa desmotivação no cuidado com a saúde. Nos dias atuais, novas tecnologias têm possibilitado novas formas de interação, oferecendo resultados mais legíveis e incentivando a busca por informações na área da saúde, como por exemplo, o uso de captadores de dados e softwares de análises na área da medicina tem se apresentado em escala cada vez mais crescente.

A aquisição de dispositivos eletrônicos com preços acessíveis para o monitoramento caseiro já é uma realidade, onde estes fazem a leitura e o resultado é informado na hora, no display do próprio aparelho. Entretanto, devido ao manuseio de forma incorreta, os mesmos podem gerar leituras equivocadas e ainda não fornecerem uma análise quantitativa baseada nas medições passadas, uma vez que, após serem desligados, todas as informações se perdem.

Clínicas especializadas, como de fisioterapia, por exemplo, vem cada vez mais fazendo uso de tecnologias para o monitoramento vital e avaliação de seus pacientes (Kini et al, 2015). Desta forma, os especialistas consideram as condições físicas de cada paciente durante o exercício, eliminado possíveis problemas e auxiliando no cálculo com resultados mais assertivos. Entretanto, apesar deste crescente uso, muitas clínicas ainda fazem as coletas dos dados de forma manual, culminado na interrupção dos exercícios do paciente prejudicando seu tratamento. Além disso, como o método manual acontece de tempo em tempo, nos intervalos sem controle o paciente pode ter um mal subido e gerar problemas a sua saúde.

Os dispositivos comerciais de monitoramento de alta qualidade, como *SHealth Body Scale* da Samsung (Samsung, 2020), Vita 200 da Alfamed (Alfamed, 2020) e PageWriter30 Philips (Philips 2020), são considerados de alto custo e possuem uma tecnologia proprietária, que não permite a captura e/ou compartilhamento dos dados fora do seu ambiente, dificultando as análises. Além disso, a falta de clareza de como os dados são obtidos e a forma de transmissão com protocolo privado, impede a realização de testes e adaptações/personalização ao meio que está sendo empregado.

Visto como alternativa, estão disponíveis no mercado novas formas de interfaces avançadas, baseadas em dispositivos de sensores e hardwares de

baixo custo como Arduíno, funcionais e de fácil programação, acessíveis a estudantes e projetistas amadores que podem montar, modificar, melhorar e personalizar tais hardwares para situações que atendam suas necessidades. Tais dispositivos oferecem um bom desempenho, permitindo a personalização, comandos externos, aceitam a captação e exportação de dados. Entretanto, ainda é uma tarefa desafiadora projetar e desenvolver soluções de baixo custo que podem ser personalizadas para o monitoramento de sinais vitais de pacientes durante sessões de exercícios.

Este artigo apresenta uma solução de baixo custo para a construção de uma plataforma microcontrolada para o monitoramento (box de sensores), em tempo real, dos sinais vitais de pacientes (batimento cardíaco, pressão e respiração) fazendo uso de sensores e Arduíno, visando permitir que profissionais da saúde possam supervisionar os sinais e controlar os exercícios durante a sua execução. Além disso, os dados capturados podem ser armazenados para controle e futuras avaliações, gerando um acompanhamento da evolução e histórico de saúde do paciente.

Dentre as principais contribuições deste trabalho pode-se citar:

- solução livre e de baixo custo para que desenvolvedores possam desenvolver suas próprias soluções de software na área médica;
- uma arquitetura de Hardware baseada em sensores, Arduino e Bluetooh, para captura e monitoramento, em tempo real de batimento cardíaco, respiração e pressão;

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta trabalhos relacionados; Na Seção 3 estão descritas as etapas do projeto e da implementação; Na Seção 4 são apresentados todos os experimentos realizados, resultados e discussões; Na Seção 5, discutem-se as conclusões alcançadas e finaliza com propostas de trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

A metodologia de busca utilizada seguiu a revisão sistemática indicada por Kitchenham et al. (2009) e culminou na especificação de um protocolo de revisão para a busca dos trabalhos relacionados, visando identificar, avaliar e interpretar as pesquisas dentro das áreas de interesse: computação e saúde. A busca por soluções de baixo custo com tecnologias embarcadas para o monitoramento e a captura e transmissão dos dados foram as questões de pesquisa utilizadas.

No trabalho apresentado Abdullah, Bakar e Islam (2016) foi desenvolvido uma rede de sensores utilizando modem GSM (Global Sim Module) para o monitoramento de pacientes em movimentação. Uma plataforma Arduino capta os dados dos sensores de batimento cardíaco e temperatura, enviando-os para um servidor. Um software de gerenciamento que envia os dados e sinais de alerta para celulares ou hospitais. No entanto o sistema consome muita energia devido à transação continua de mensagem de controle GSM.

Erlina, Putri e Saputra (2018) apresentam um sistema para o monitoramento de pacientes em coma. O desenvolvimento utiliza sensores de batimentos cardíacos, respiração, controle de olho aberto ou fechado. Os dados obtidos por um Arduino e são enviados diretamente ao computador, via cabo, pela rede de internet usando a placa de controle *Ethernet Shield*. O software possui dois tipos de acesso: Médica com informações técnica e familiar com dados da situação do paciente. O sistema é eficiente possuindo boa leitura, pois o paciente permanece sempre imóvel atingindo 98% de eficácia, porém quando o paciente cobra a consciência nem sempre a reação é o abrir de olhos, como descrito pelos autores, tornando o sistema falho.

Holanda Junior et al. (2018) projetaram um vestuário tipo colete com sensores embutidos na própria vestimenta que capta os dados dos sensores de batimento cardíaco, temperatura e

aceleração. Essas informações são gravadas por um microcomputador Raspberry PI localizado no próprio colete e armazena as informações no banco de dados, podendo ser acessados de qualquer lugar, tendo em vista que o próprio já opera como servidor. O intuito é saber se o paciente está se movendo e com batimentos normais, temperatura correta e sem atrapalhar a mobilidade. O projeto é muito complexo, permite interatividade do paciente e profissional da saúde, porém seu custo é muito elevado em relação às informações obtidas.

Jenitha, Jeyasheeli e Raji (2016) apresentam um sistema de captação de dados de batimento cardíaco, temperatura e pressão sanguínea e envia os dados para um servidor via placa Arduino por cabo serial. O que se destaca nesse projeto é classificação dos dados, uma vez que este trata a qualidade dos dados recolhidos por meio de um *model learning*, ou seja, o software evolui no reconhecimento de novos padrões e descarta dados que não acompanham a curva, tornando-se mais assertivo o resultado no processo real, decidindo se os dados serão armazenados ou ignorados. O sistema é eficiente por tratar cada paciente de forma individual, porém é impossível para os profissionais da saúde acompanhar o processo em tempo de execução, pois a classificação de grandes volumes de dados aumenta o tempo de resposta.

Kini, et al. (2015) descreveram uma rede de sensores sem fio monitorando os sinais vitais de um paciente remotamente, como batimento cardíaco, temperatura e saturação de oxigênio no sangue (SpO2). Os dados são enviados por módulos de transmissão (transmissor ligado ao paciente e um receptor conectado ao computador) o *tranceivers* CC110L, o microcontrolador usado é um MSP430 G2 para gerenciamento do sistema. A estrutura da rede se mantém estabilizada com uso *tranceivers*, porém, a falta de sincronismo pode acontecer quando ocorrem comandos do transmissor e os dados sendo enviados pelo receptor ao mesmo tempo.

Mahanty et al. (2016) apresentaram um sistema de sensor de frequência que detecta apenas se há pulso e a frequência de batimentos cardíacos, como uma solução simples e de baixo custo, utilizando um sensor de piezoelétrico, que gera sinais elétricos dependendo a pressão mecânica exercida pela pulsação do paciente. Sua forma de transmissão é por Bluetooh, usando o Módulo BT HC-06, que mantém uma comunicação serial diretamente com receptor, permitindo que o sistema dos autores seja conectado a qualquer dispositivo que tenha essa tecnologia. O projeto atendeu diretamente ao que foi proposto, enviando as informações corretas e sendo de baixo custo, porém informa apenas se o paciente mantém seus sinais vitais, impossibilitando a captura de outros tipos de informações para seu correto diagnóstico.

Nduka et al. (2019), desenvolveram um aplicativo de monitoramento de saúde, em que os sensores de batimento cardíaco e temperatura utiliza a placa Arduino para enviar os dados para o servidor WEB utilizando o padrão 802.11. Os dados coletados podem ser enviados à distância por meio da conexão wifi para um servidor, no qual os dados são interpretados pelo software de armazenamento. O foco do projeto foi criar uma placa captadora de dados sem se importar com os sensores e sim o meio de captação e envio. A desvantagem do trabalho apresentando é o alto consumo de energia do dispositivo.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os trabalhos apresentados e as funcionalidades proposta neste projeto.

Tabela 1. Comparação entre os trabalhos relacionados e a proposta deste trabalho.

Trabalhos	Tecnologia de rede	Controle de consumo de energia	Plataforma Arduino	Tempo real	Disponibiliza dados a outros	Baixo custo
Abdullah, Bakar e Islam (2016)	Redes GSM	Não	Sim	Sim	Não	Não
Erlina, Putri, e Saputra (2018)	Ethernet Shield	Não	Sim	Não	Não	Sim
Holanda Junior et al. (2018)	Web Server no proprio dispositivo	Sim	Não	Não	Sim	Não
Jenitha, Jeyasheeli e Raji (2016)	Cabo Serial	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Kini, et al. (2015)	Transceivers	Sim	Não	Não	Não	Não
Mahanty et al. (2016)	Bluetooh - HC	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Nduka et al. (2019)	Wifi-ESP8266	Sem bateria	Sim	Não	Não	Não
Este trabalho	Bluetooh - HC	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: (autor).

Após a análise das funcionalidades dos trabalhos relacionados, pode se concluir a importância no desenvolvimento de pesquisas de dispositivos para monitoramento, voltados para o tratamento na área médica, bem como, a busca por soluções de baixo custo, que possam disponibilizar soluções integradas e de fácil uso, a partir de uma grande variedade de tecnologias de redes, plataformas de controle, sensores, consumo de energia e formas de apresentação dos dados.

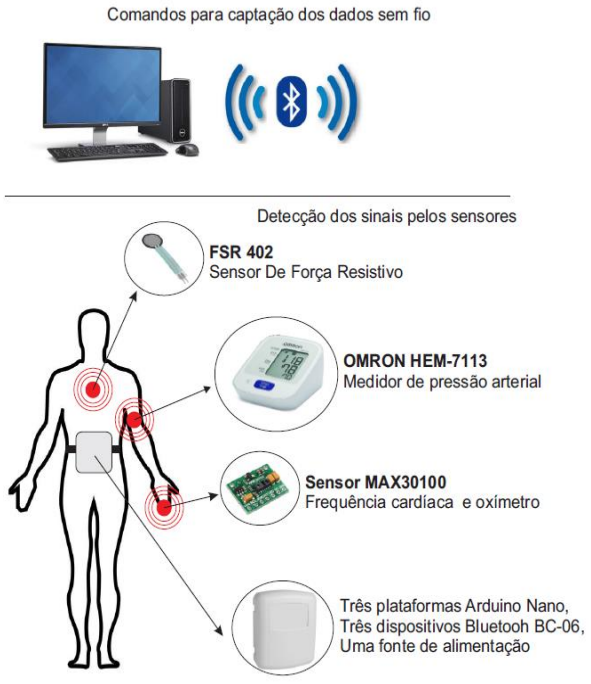
3. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO

Neste artigo foi desenvolvida uma plataforma microcontrolada, fazendo uso de um conjunto de sensores para monitoramento, em tempo real, de diversos dados de sinais vitais de pacientes que realizam atividades físicas em clínicas de fisioterapia ou em tratamentos com psicólogos.

Para o projeto foi desenvolvido um box de sensores sem fio para captura, e que se comunica via conexão Bluetooh com o computador. Conforme se pode visualizar na Figura 1, o box de sensores é constituído em:

- Conjunto de sensores para batimento cardíaco, oxigenação do sangue, respiração e pressão cardíaca que serão acoplados em pontos relevantes do corpo do paciente. É utilizado o sensor FSR 402 (Sensor de força resistivo) para o acompanhamento da respiração, o aparelho medidor de pressão da marca OMRON modelo HEM-7113 e o sensor de frequência cardíaca e oxímetro modelo MAX30100;
- Três Arduíno Nano responsáveis pela leitura dos comandos elétricos dos sensores (um Arduino para cada sensor), processamento dos dados e envio, via Bluetooh para o computador;
- Três dispositivos Bluetooh HC-06 (um para cada Arduino Nano) para a transmissão dos dados capturados para o computador, trabalhando a uma velocidade de 9600 BPS (*Bauds* Por Segundo, que representa a velocidade do sinal, ou seja, o circuito transmite com taxa de sinal de 9600 vezes por segundo);
- Uma bateria recarregável 12V 1,5aH para alimentar todos os dispositivos e permitir a mobilidade do paciente.

Figura 1. Visão geral do projeto.



Fonte: (autor).

Com o módulo de captura acoplado ao corpo do paciente, juntamente com sensores de captação dos sinais vitais fixados nas posições corretas (em contato com a pele e de maneira não intrusiva), conforme ilustra

a Figura 1, é possível varrer os sinais vitais, gerando sinais elétricos a partir dos valores obtidos.

O próximo passo é estabelecer a conexão serial (RS232) via Bluetooh com o computador. Cada sensor possui uma conexão individual, desta forma, os sensores podem trabalhar separadamente ou juntos, ao mesmo tempo.

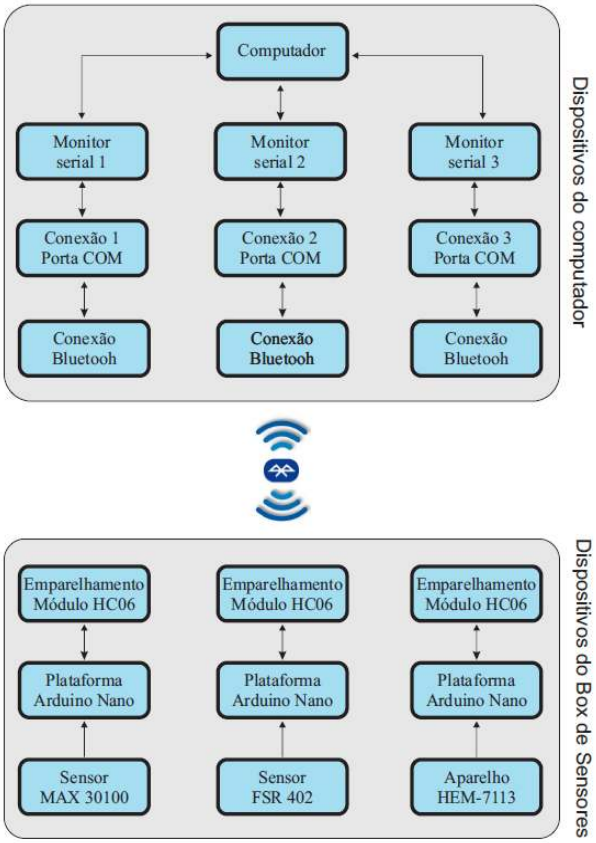
Com a conexão estabelecida, a solução está apta para funcionar. A partir deste momento, um comando "OPEN" via software para cada porta "COM" associada a uma conexão Bluetooh dos sensores de batimento cardíaco e de respiração, ativa a recepção dos dados. Vale ressaltar que esses sensores capturam dados, constantemente, quando ativados, enquanto, o sensor de pressão necessita de um comando específico "MEDIR", na porta "COM" associada, para a sua ativação e captura de dados no momento desejado.

Uma vez capturados os dados de cada sensor, estes poderão ser utilizados para visualização, monitoramento, aferição, cálculos, dentre outros. Vale ressaltar que é uma solução genérica que permite seu uso para qualquer solução que necessite de tais dados. Para isso, basta implementar o acesso as portas "COM" disponíveis no computador em seu software.

3.1 Projeto do Hardware

A Figura 2 apresenta o diagrama de bloco do hardware, bem como, o relacionamento entre os dispositivos.

Figura 2. Diagrama de bloco do hardware.



Fonte: (autor).

O computador funciona como interface entre o usuário e o sistema. Os usuários são os desenvolvedores ou profissionais da saúde e/ou equipe médica.

No computador por meio do Monitor Serial, é habilitada a Porta "COM", responsável por estabelecer uma conexão Bluetooh do computador com cada Módulo HC-06 correspondente no Box de Sensores.

No Box de Sensores, por meio da conexão 1, o Arduino Nano reconhece o emparelhamento HC-06 (computador e Box de sensores), e coleta os dados do sensor MAX30100, enquanto, na conexão 2, o Arduino Nano reconhece o emparelhamento e coleta os dados do sensor FSR 402. Na conexão 3 o Arduino Nano reconhece o emparelhamento e aguarda o comando do Monitor serial para a leitura do Aparelho HEM-7113.

O sensor MAX3010 faz leitura do batimento cardíaco e oxigenação do sangue, enquanto, o sensor FSR 402, faz leitura de respiração do paciente. O Aparelho HEM-

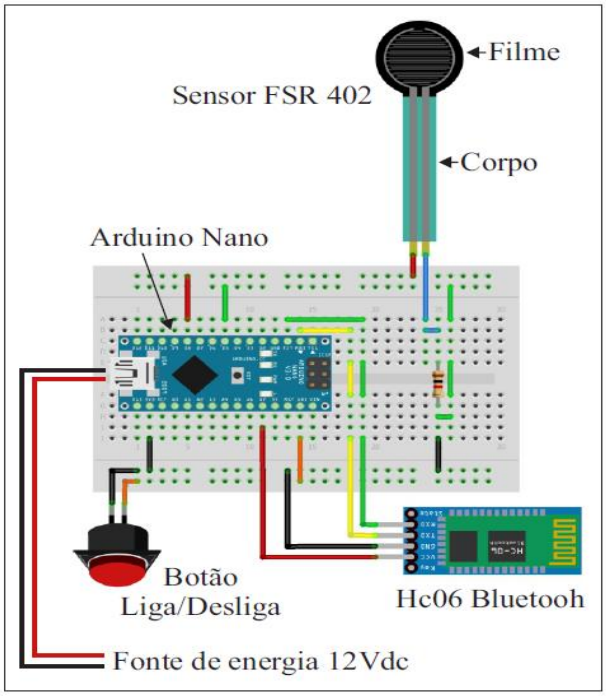
7113 faz a leitura da pressão (pico diastólica e sistólica).

O Arduino processa os dados capturados dos sensores, e os envia, via módulo HC-06 Bluetooh ao computador.

3.1.1 Hardware FSR 402

A Figura 3 apresenta as informações sobre o Esquemático de ligação do módulo de captação do sensor de respiração que faz uso do sensor FSR 402, Arduino Nano e Módulo HC-06.

Figura 3. Fiação e hardware do dispositivo FSR 402.



Fonte: (autor).

Como se pode visualizar na Figura 3, o circuito é alimentado pela fonte com 12 Vdc (que é regulada para 3,3 Vdc pela plataforma do Arduino e todo o circuito opera nessa tensão) é composto por quatro componentes principais: o microcontrolador Arduino Nano, que gerencia todo o processo, o módulo de comunicação com o computador HC-06 Bluetooh, o objeto de leitura o sensor FSR 402 e um botão liga/desliga.

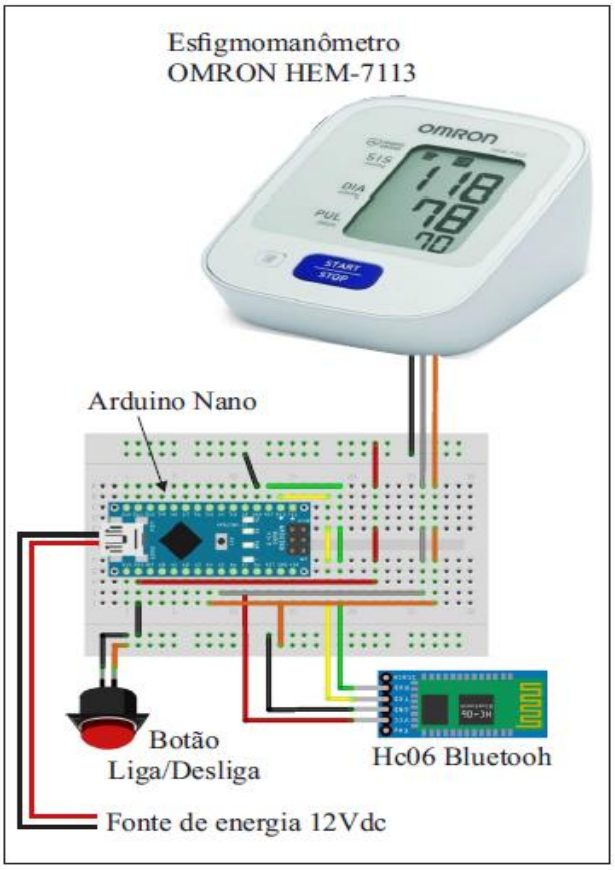
FSR402 é um sensor de pressão resistiva ultrafino, leve, de tamanho pequeno e de alta precisão e que permite detectar a pressão física. Este tipo de pressão deve ocorrer na área do filme FSR, com a alteração do valor da resistência, para informações de pressão. Quanto menor a pressão, maior a resistência. Permite seu uso na faixa de 100 g até 10 kg (INTERLINK, 2010).

Fazendo a medição da respiração, fixado no peito do paciente, recebe a resistência da inspiração ou expiração do pulmão, detectando os movimentos respiratórios. Os dados são enviados ao Arduino, que por sua vez envia ao computador, via Bluetooh.

3.1.2 Hardware do Aparelho HEM-7113

A Figura 4 demonstra informações sobre o esquemático de ligação do módulo de leitura do esfigmomanômetro, conectado ao Esfigmomanômetro HEM-7113, Arduino Nano e Módulo HC-06.

Figura 4. Fiação e hardware do dispositivo Esfigmomanômetro HEM-7113.



Fonte: (autor).

Conforme a Figura 4, o módulo de leitura é composto por quatro componentes principais: o microcontrolador Arduino Nano, o módulo de comunicação HC-06 Bluetooh, o

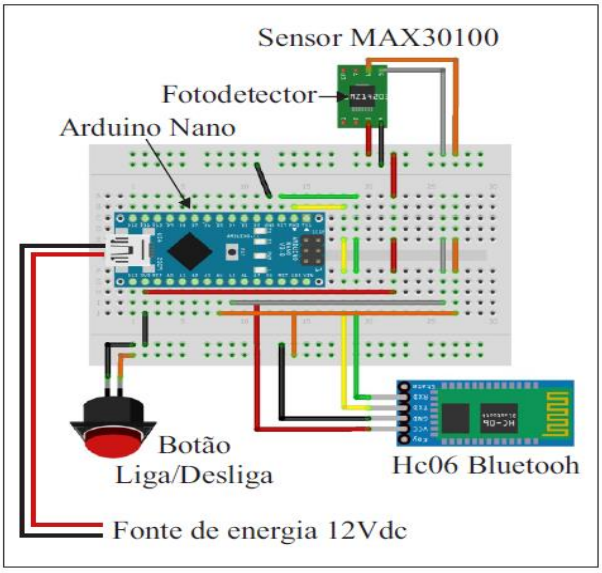
esfigmomanômetro (aparelho medidor de pressão arterial) e o botão liga/desliga para energizar o circuito. A ligação do Arduino ao aparelho foi realizada internamente nos contatos da placa, sendo ligados os fios de transmissão (TX), recepção (RX) e o negativo (VDD) usado como pulso de comando para a medição. Todo o circuito trabalha com a tensão de 3,3 Vdc, regulado pela plataforma do Arduino alimentado por 12 Vdc.

O Esfigmomanômetro HEM-7113 é um aparelho que verifica a pressão arterial pela compressão, inflando no braço do paciente pela bolsa de borracha. Esse aparelho, nos terminais da placa de circuito, disponibiliza informações dos dados captados por RS232 com taxa de transmissão de 9600 BPS (*Bauds* Por Segundo) permitindo ao Arduino receber a informação serialmente. O computador ao enviar o comando "MEDIR" para o Arduino, via Bluetooh, envia um pulso negativo ao aparelho, que realiza a leitura da pressão diastólica e sistólica do paciente. Logo após a compreensão e leitura do aparelho, o mesmo envia os dados ao Arduino, que transmite ao computador via Bluetooh.

3.1.3 Hardware MAX30100

A Figura 5 demonstra informações do esquemático de ligação do módulo de captação do sensor de batimento cardíaco e oxigenação do sangue, conectado ao sensor MAX30100, Arduino Nano e Módulo HC-06.

Figura 5. Fiação e hardware do dispositivo MAX30100.



Fonte: (autor).

Na Figura 5, o circuito é alimentado por 12 Vcd e regulado para 3,3 Vdc, sendo composto por quatro componentes principais: o microcontrolador Arduino Nano, o módulo de comunicação HC-06 Bluetooh, o sensor MAX30100 que fará a leitura do paciente e um botão liga/desliga.

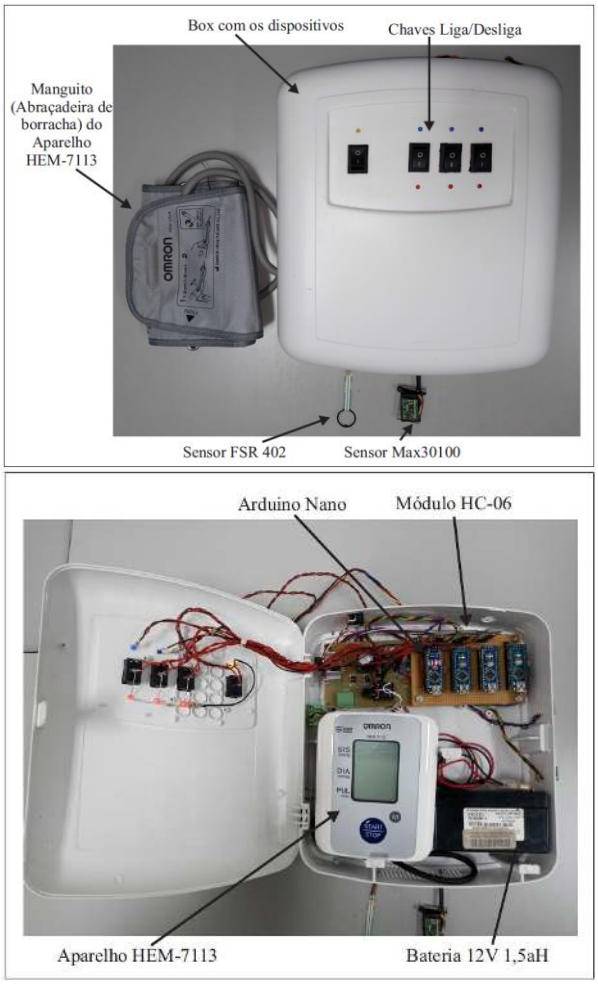
O Sensor MAX30100 é um fotodetector (efetua a medição do volume do corpo, decorrente de fenômenos circulatórios chamado de fotopletismografia), fazendo uso das sombras produzidas pela circulação do sangue detectando os batimentos cardíacos e a quantidade de oxigênio no sangue (MAXIM, 2014). Os valores são calculados pela quantidade de luz no ambiente próximo, enviando ao Arduino os dados já processados. O Arduino ao receber as informações, os envia ao computador, via Bluetooh, numa periodicidade de 1 vez a cada 8 segundos (intervalo de tempo necessário entre uma leitura e outra, para um resultado mais correto, de acordo com o fabricante (MAXIM, 2014).

3.1.4 Hardware Implementação do Projeto

Com base no Projeto do Hardware discutidos nas seções anteriores, a implementação real do hardware, referente

ao box de sensores, pode ser vista na Figura 6.

Figura 6. Box de Sensores fechado e aberto com os sensores conectados.



Fonte: (autor).

3.2 Programações dos Dispositivos

A programação dos microcontroladores foi baseada na tecnologia Arduino, que além de possuir um bom nível de processamento, possui ainda um valor de custo baixo. Para isso, foi utilizado o software IDE Arduino (Erlina, Putri e Saputra, 2018), gratuito, para programação em Linguagem C, as bibliotecas e códigos para conexão e uso com outros dispositivos tais como a biblioteca: "MAX30100.lib chip de oximetria de pulso Maxim" (MAXIM, 2014), "DHT.lib Envio de dados via Bluetooth" (GUANGZHOU, 2006) e o código de exemplo do sensor FSR: "FSR-use-and-Measurements.ino" (INTERLINK, 2010). As próximas seções detalham tais programações.

3.2.1 Programação do Arduino

A implementação do código baseado na Plataforma Arduino é a programação lógica que controla o sistema geral. O processo começa detectando os sensores e o módulo Bluetooh. Em seguida, aguarda a conexão do computador, uma vez conectado, começa o estágio infinito de leitura dos valores dos sensores, envio ao computador e checagem de falhas no processo, até que a conexão seja interrompida.

Os dados enviados são categorizados para envio ao computador, transformando os valores decimais em *string* e todos os dados são separados por ponto e vírgula, essa estrutura é detalhada a seguir na programação dos sensores.

Para o módulo de respiração FSR 402 o Arduino faz leitura analógica do sensor, convertendo para forma digital, já o sensor de batimento cárdico MAX30100, é realizado a leitura digital pelo protocolo I2C (*Inter-Integrated Circuit*), tudo é operado por meio da própria biblioteca e código dos sensores disponibilizados pelos fabricantes denominada "MAX30100.lib" e "FSR-use-and-Measurements.ino".

O esfigmomanômetro envia os dados já processados de forma serial, o valor é transmitido no formato hexadecimal, o Arduino converte esses dados em decimais, em seguida, caracteriza em formato *string* para enviá-lo ao computador, via Bluetooh.

3.2.2 Programação do FSR 402

Com a variação da resistência nos terminais do sensor, o Arduino faz a leitura analógica dos dados. A informação enviada ao computador segue a seguinte estrutura: "*FSR reading = VALOR LIDO;*". Como exemplo, supondo que a leitura feita pela pressão no sensor seja de 100 gramas, logo *string*: "*FSR reading = 100;*". O Arduino envia, sequencialmente, 100 amostras por segundo para correta leitura da respiração, sempre delimitada por ponto e vírgula.

3.2.3 Programação do MAX30100

Por meio da comunicação com o sensor, o Arduino faz a leitura do fotodetector pela variação da sombra. Os dados lidos são do batimento cardíaco calculado em BPM (Batimento Por Minuto) e a porcentagem de oxigenação do sangue que é de 0 a 100%, enviados ao computador no formato *string* pela sequência: "*Heart: VALOR LIDO bpm; SpO2: VALOR LIDO %;*". Como exemplo, supondo que a leitura foi de 80 batimentos por minutos e a oxigenação do sangue de 95% segue a *string*: "*Heart: 80 bpm; SpO2: 95 %;*". Enviando, sequencialmente, uma amostra a cada 8 segundos.

3.2.4 Programação do Aparelho HEM-7113

Ao receber do computador a *string* "MEDIR", via bluetooh, o Arduino envia um pulso de 3,3 volts negativo na placa interna do aparelho, realizando as leituras da pressão sistólica e diastólica. O aparelho envia um código, via serial, com todas as etapas do processo de leitura: "Inicio", "Ligando o esfigmomanômetro", "Checando condições da abraçadeira", "Inflando", "Desinflando", "Medição concluída com sucesso" e "Desligando o esfigmomanômetro". Se caso ocorrer algum erro durante o processo é enviado um código de "Erro de leitura" e o evento é abortado. Caso a leitura seja feita corretamente, o aparelho envia os dados em formato hexadecimal.

Por exemplo, se o aparelho fez a seguinte leitura: sistólica 113 e diastólica 90, o Arduino recebera a seguinte *string* de caracteres: *f007105A*, onde é retirada a seguinte informação: f00, sistólica 71, 0, diastólica 5A. Convertido de hexadecimal em decimais: sistólica 71 para 113, diastólica 5A para 90.

O Arduino envia ao computador a *string* caracterizada da seguinte forma: "113;90".

3.2.5 Programação do Módulo HC-06

O sistema não tem a necessidade de fazer a checagem da transmissão, isso porque o protocolo Bluetooh possui as definições de encriptação e envio, fazendo uso da biblioteca DHT.lib, disponibilizada pelo fabricante. O módulo HC-06 realiza: a variação da frequência, salteamento, modulação, transmissão, estabelecimento de conexão, endereçamento, formato do pacote, temporização, controle de energia, gerenciador de link e autenticação entre dispositivos (GUANGZHOU, 2011).

4. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

A metodologia utilizada foi identificada como uma abordagem qualitativa e quantitativa. Alguns experimentos foram realizados pelos autores para garantir que o dispositivo se comporte corretamente, tanto a nível de componentes, dados capturados, tensão de alimentação, desempenho, alcance, dentre outros. As próximas seções detalham tais experimentos.

4.1.1 Experimentos com o Sensor FSR 402

Para verificar a resposta do FSR 402 quanto ao movimento do pulmão (inspiração e expiração), o sensor de pressão foi colocado junto ao peito do pesquisador preso por um cinto e conectado ao sensor responsável por medir a faixa de tensão analógica. Este experimento visou analisar o estado respiratório, que pode ser normal ou hiperventilado (respiração ofegante), com o intuito de avaliar o esforço para se conseguir respirar corretamente. Está solução para leitura da respiração com o sensor de força FSR-402, foi desenvolvida pelo próprio autor.

Visando verificar se os valores obtidos do sensor estão corretos, um teste comparativo foi realizado com um aparelho que mede o volume da respiração em litros. O aparelho utilizado foi o *Respiron* Volumétrico 5L da marca NCS (Figura 7), que oferece exercícios pulmonares pelo sobro, mexendo a musculatura inspiratória e forçando a respiração. Desta forma, permitindo mensurar o volume de ar inspirado em cada movimento (ISPSAUDE, 2020).

Figura 7: Aparelho Respiron Volumétrico 5L.

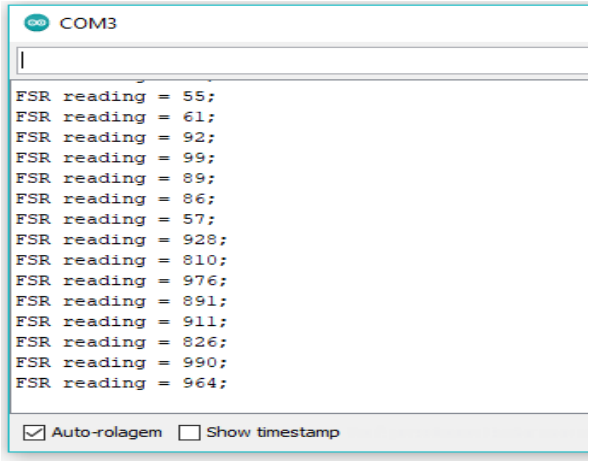


Fonte: (ISPSAUDE, 2020).

O aparelho funciona sobrando na mangueira bocal e pela força da intensidade do sobro à bola sobe pelo pistão e pelo indicador de fluxo, onde se visualiza o avanço do exercício, capacidade, fluxo e volume.

O teste avaliou a capacidade do sensor FSR-402 em detectar o estado dos pulmões cheio (inspiração) ou vazio (expiração) pela pressão do cinto. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 8.

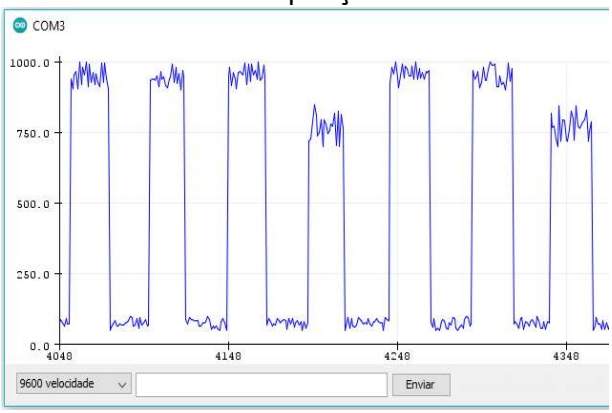
Figura 8. Valores obtidos do Teste do Sensor de respiração.



Fonte: (autor).

Como se pode visualizar na Figura 8 os valores de referência do sensor de pressão com o peito vazio de ar são baixos (em torno de 55) e a pressão com o peito cheio de ar são altas (em torno de 964), apresentando uma variação bem distinta entre os dois estados. Os valores capturados variam entre 55 e 964 de pressão, conforme apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1. Plotagem dos valores obtidos do teste do sensor de respiração.



Fonte: (autor).

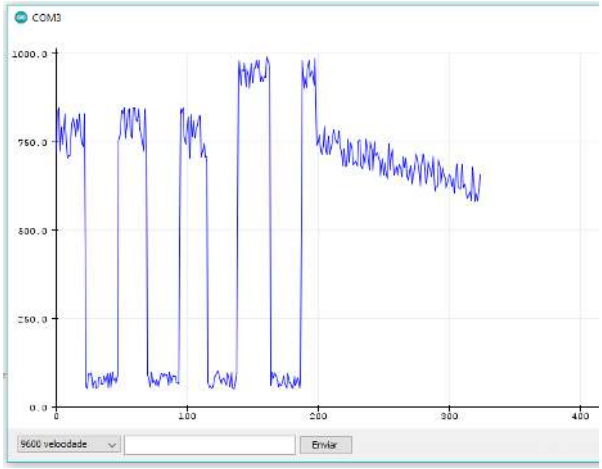
Comparando os valores obtidos do sensor FSR-402 com os valores do aparelho de respiração volumétrico, constatou-se que, quando o pulmão está vazio, o sensor envia valores baixos, próximos a 55 e a bola do medidor volumétrico se mantém em repouso, à medida que há inspiração, os valores do sensor sobem ao mesmo ritmo da bola do medidor volumétrico. Quando os pulmões se encheram de ar por completo, o sensor marcou valores próximos a 964 e a bola do pistão do aparelho respiratório mediu 3500 litros. O processo se manteve igual durante a expiração, conservando sempre uma equivalência entre os valores medidos. Nota-se que pelo sensor há a regulagem do cinto no peito, adaptando a leitura correta, com isso, todas as leituras irão detectar as mesmas referências entre cheio e vazio para diferentes indivíduos, já o aparelho de respiração são valores pré-fixados, podendo ocorrer alteração de dados na litragem para cada um.

O teste foi realizado em quatro situações: respiração normal, respiração longa, respiração curta e sem respiração, sendo possível identificar todas as partes nos dois aparelhos comparados. A precisão do experimento na detecção do estado da respiração foi de 100%.

Outro teste realizado foi o de alcance do sinal, onde foi avaliado a área de

cobertura para evitar as perdas de dados. Foi averiguado que em até 10 metros de distância os valores chegaram sem falhas ao computador, assim, o box de sensores enviou, corretamente, valores sequenciais junto com os dados do valor de respiração. A partir de 10 metros de distância do computador houve perda de dados, como mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2. Valores obtidos do teste do sensor de respiração acima de 10 metros de distância.



Fonte: (autor).

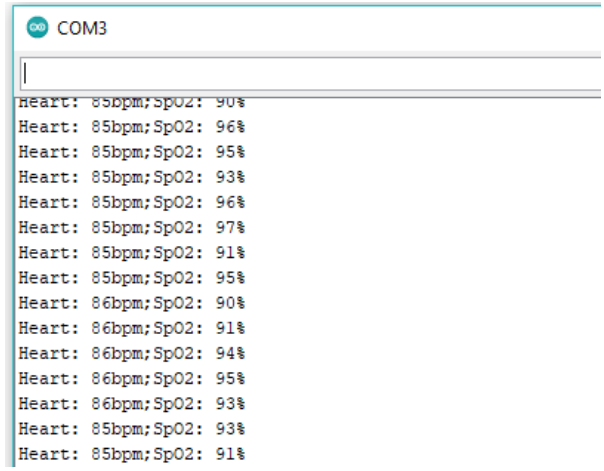
Para o aparelho medidor de respiração volumétrico, não houve acurácia dos dados, por ser um produto comercial e com Classificação Fiscal de Venda (controle de órgãos anuentes como Anvisa, Inmetro e Ministério da Agricultura para a classificação de produtos e autorização de venda), atendendo as normas técnicas e leis vigentes, pelo NCM nº 90192090 – Apars.de ozonoterapia e outs.de terapia respiratória, (ISPSAUDE, 2020).

4.1.2 Experimentos com Sensor MAX30100

Foram executados vários testes com este sensor para se descobrir o ponto mais eficaz do corpo para ser acoplado. Foi identificado que no dedo da mão esquerda se tem uma melhor leitura.

Diante disso, a capacidade do sensor em detectar o batimento cardíaco foi avaliada e os resultados estão apresentados na Figura 9. Como se pode notar, uma taxa média entre 92 e 95% foi obtida, sendo considerado, pelos autores, uma porcentagem de acerto satisfatório para este tipo de sensor.

Figura 9. Valores obtidos do teste do sensor cardíaco.



Fonte: (autor).

Com o intuito de verificar se os valores obtidos do sensor estão corretos, um teste ergométrico foi realizado pelo pesquisador, realizando um exercício de 20 minutos na esteira a uma velocidade de caminhada leve, sendo medido os valores de batimento cardíaco a cada 2 minutos com 3 aparelhos: o sensor MAX30100, o medidor da esteira e também o próprio aparelho de pressão HEM-7113 usado no projeto. A esteira utilizada foi a Concept da marca *DreamFitness* (DreamFitness, 2020) que utiliza um aparelho medidor modelo *handgrip* (sensor de contato posicionado na palma da mão). São disponibilizados dois sensores que fazem a leitura do batimento cardíaco das mãos e exibe no display o valor calculado apenas quando as duas leituras são iguais.

O resultado é apresentado na Tabela 2 e o Gráfico 3 apresenta as linhas geradas por cada aparelho testado, demonstrando a proximidade de valores entre eles.

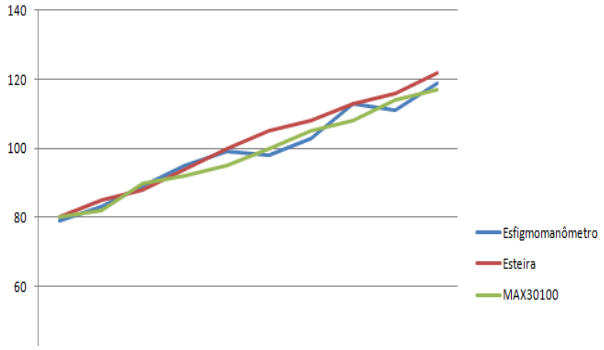
Tabela 2. Comparação da medição do sensor de batimento cardíaco.

Leitura	Medidor A HEM-7113	Medidor B Esteira	MÉDIA (A e B)	Sensor MAX30100	%
1	79	80	79,5	80	1%
2	83	85	84	82	-2%
3	89	88	88,5	90	2%
4	95	94	94,5	92	-3%
5	99	100	99,5	95	-5%
6	98	105	101,5	100	-1%
7	103	108	105,5	105	0%
8	113	113	113	108	-4%
9	111	116	113,5	114	0%
10	119	122	120,5	117	-3%

Fonte: (autor).

Como ilustrado na Tabela 2 e no Gráfico 3, existe uma variação dos resultados entre os aparelhos utilizados, desta forma, visando obter o ponto de equilíbrio e se definir se houve equidistância, foi realizado um cálculo da média dos valores obtidos entre o aparelho de pressão HEM-7113 e da esteira Concept. Em seguida, sobre a média e os dados obtidos do sensor MAX30100, foi aplicada, em cada linha, a fórmula ((valor da MÉDIA – Valor do Sensor) / MÉDIA), obtendo uma variação percentual entre dois números. Constatou-se uma diferença de 5% de variação. Estes cálculos demonstram que o sensor MAX30100 tem uma precisão de 95% de eficácia.

Gráfico 3. Gráfico dos resultados da Tabela 2 referentes aos valores individuais de cada aparelho (Medidor A, Medidor B e Sensor Max).



Fonte: (autor).

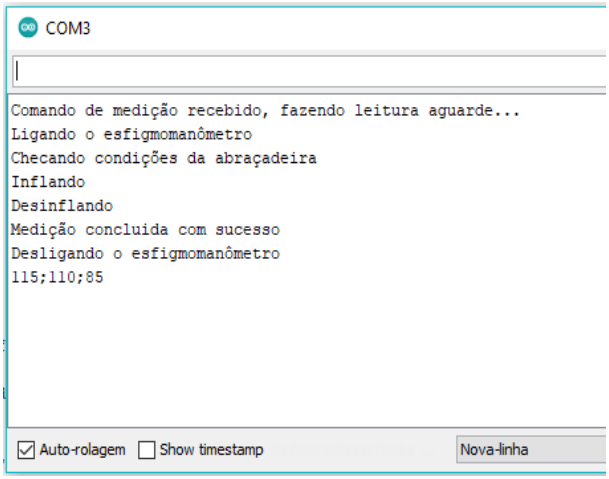
Durante o exercício foi constatado que o suor deixava a mão úmida e isso atrapalhou a leitura pelos sensores da esteira e do sensor Max30100, sendo necessário secar a mão com o uso de uma toalha para obter a leitura correta, isso foi feito sem dificuldades e não houve necessidade de interromper o exercício.

Para o aparelho medidor cardíaco da esteira Concept, não houve experimento para validação dos dados obtidos, por se tratar de um produto comercial e com Classificação Fiscal de Venda (controle de órgãos anuentes como Anvisa, Inmetro e Ministério da Agricultura para a classificação de produtos e autorização de venda), atendendo as normas técnicas e leis vigentes, pelo NCM nº 95069100 - Aparelho para cultura física, (DreamFitness, 2020).

4.1.3 Experimentos com o Aparelho HEM-7113

Para analisar as respostas do Aparelho HEM-7113, foi enviado o comando “MEDIR” pelo computador e as respostas geradas pelo Arduino estão descritas na Figura 10.

Figura 10. Valores obtidos do teste do Aparelho HEM-7113.

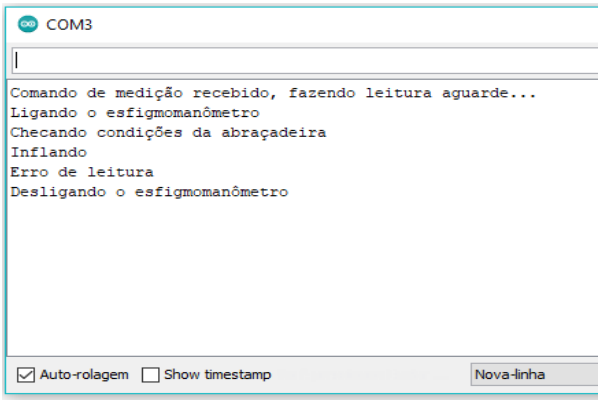


Fonte: (autor).

Todo o evento durou aproximadamente 40 segundos, desde o comando de leitura até receber os valores do resultado. A sincronização, comandos do Arduino e devolução da resposta ocorreram corretamente.

Outro teste foi realizado, desta vez, desconectando o manguito (a abraçadeira) do aparelho, propositalmente, para observar a reação do sistema, obtendo a seguinte resposta, como descrito na Figura 11.

Figura 11. Valores obtidos do teste do Aparelho HEM-7113.



Fonte: (autor).

O sistema conduziu corretamente o processo e após o erro voltou ao estado inicial sem problemas. Pela sequência das informações do processo de leitura, verificou-se que o erro ocorreu após o comando "Inflando", isso permite ao operador localizar facilmente eventos de falhas para correção.

Para o aparelho medidor de pressão HEM-7113 não houve experimento de dados, por se tratar de um produto comercial de uma empresa conceituada na área médica e possuir certificação da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) sob o Registro ANVISA nº 80047300345 - Monitor de Pressão Arterial Automático.

4.2 Discussão dos Resultados

Após os testes terem sido realizados em cada sensor e na transmissão, pode-se concluir que o box de sensores desenvolvido monitora as condições fisiológicas de pacientes em tempo real, comprovada por alta porcentagem de precisão na taxa de batimento cardíaco, 95%; frequência respiratória, 100% e pressão arterial pelo uso de um aparelho comercial, 100%.

Além disso, o computador recebeu os dados capturados no box de sensores em até 100 amostras por segundo, sendo considerado em tempo necessário para a análise dos dados.

No geral, o protótipo desenvolvido funciona adequadamente para o monitoramento e transmissão dos dados vitais. No entanto há um limite na conexão Bluetooh dependendo do aparelho receptor e mantendo um distanciamento maior que 10 metros o transmissor perde a conexão. Além disso, em atividades físicas, para o bom funcionamento do sensor de batimento cardíaco MAX30100, o local do corpo onde este está acoplado deve estar sempre seco, para uma boa leitura.

Conclui-se então que os resultados dos testes do box de sensores e das soluções utilizadas, foram considerados muito bons, indo de encontro aos objetivos estipulados por esta pesquisa.

Após a validação da solução proposta neste artigo, esta foi utilizada em dois trabalhos multidisciplinares entre os cursos de Ciência da computação e fisioterapia da Universidade do Oeste Paulista. Estes trabalhos foram produzidos no grupo de pesquisa em Tecnologias Interativas e Visão Computacional (InterVis) da Faculdade de Informática de Presidente Prudente, são eles: PhvsioVR e o PhvsioAR.

O projeto PhvsioVR denominado "Sistema Adaptativo de Realidade Virtual para Avaliação e Reabilitação Cardiovascular" permitiu o monitoramento cardiovascular constante dos pacientes durante a sessão de fisioterapia de modo a prevenir que seus batimentos cardíacos ultrapassem os limites estipulados. Neste trabalho foi utilizado os sensores de batimento cardíaco (Chirolli et al., 2017).

Como se pode observar na Figura 12, no canto superior esquerdo, são apresentados dois corações sendo um vermelho que representa o valor real capturado do sensor de batimento cardíaco e o azul que demonstra como deveria estar o batimento do paciente quando fazendo o exercício proposto. Desta forma, o fisioterapeuta pode acompanhar, em tempo

real, os batimentos cardíacos do paciente cardiopata e, em caso de necessidade, possa realizar intervenções em tempo de execução para detectar irregularidades com o paciente em sessões fisioterapêuticas.

Figura 12. Interface de Execução do PhysioVR

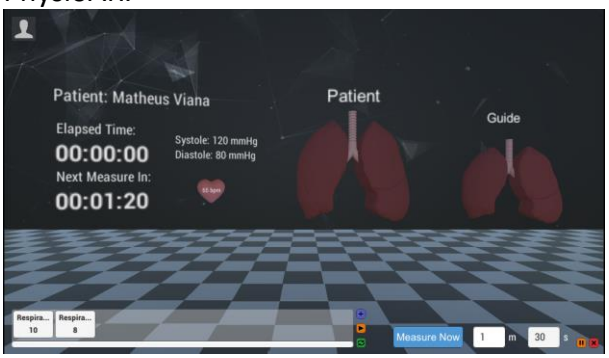


Fonte: (Chirolli et al., 2017).

Já o projeto PhysioAR intitulado como "O Uso da Realidade Aumentada em Exercícios Respiratórios para o Controle de Pico Pressórico em Pacientes Hipertensos" objetivou o controle de pico pressórico do paciente com o uso de técnicas de fisioterapia respiratória (Silva; Pacagnelli; Siscoutto, 2018). Neste trabalho foi utilizado os sensores de respiração e pressão proposto neste artigo.

Como se pode visualizar na Figura 13, o sensor de batimento cardíaco foi utilizado para atualizar, em tempo real, o pulmão virtual indicado como *Patient*. Um pulmão guia (*guide*) simula a respiração correta para o exercício e entra em ação quanto um pico pressórico é detectado no paciente. No centro Figura 13 tem-se um coração virtual para controle dos batimentos cardíacos do paciente. Este coração é atualizado a partir dos dados capturados do sensor de batimento cardíaco proposto neste artigo.

Figura 13. Interface de Execução do PhysioAR.



Fonte: (Silva; Pacagnelli; Siscoutto, 2018).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma solução de baixo custo para a construção de uma plataforma microcontrolada para o monitoramento, em tempo real, dos sinais vitais de pacientes (batimento cardíaco, pressão e respiração) fazendo uso de sensores e Arduíno.

A partir dos resultados observados, pode-se concluir que a solução atingiu seus objetivos com sendo uma solução livre e de fácil construção para uso por programadores, clinicas e hospitais. Além disso, os testes demonstraram a eficácia e a corretude da solução, se demonstrando uma solução viável e prática.

Avanços futuros serão alcançados promovendo a inclusão de um sensor de aceleração para detectar a movimentação do paciente, permitindo analisar se há aumento ou queda da aceleração dos sinais vitais, oferecendo ao profissional da saúde uma correta situação do estado do paciente em atividades físicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Informática de Presidente Prudente da Universidade do Oeste Paulista, pelo apoio durante todo o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, K.; BAKAR, N. H. B. A.; ISLAM, M. R. **"Wireless Smart Health Monitoring System via Mobile Phone,"** 2016 International Conference on Computer and

Communication Engineering (ICCCE), Kuala Lumpur, 2016, pp. 213-218. https://doi.org/10.1109/ICCCE.2016.55.

ALFAMED, **Sistema de monitorização Vita 200**, disponível em: https://alfamed.com/produto/oximetro-de-mesa-vita-200/; acessado em 25/08/2020.

ANVISA, **Consulta de registro do aparelho HEM-7113,** disponível em: https://consultas.anvisa.gov.br/#/saude/25351324406201031/, Acessado em 25/08/2020.
DREAMFITNESS, **Aparelho para cultura física**, disponível em: https://dream.com.br/produto/concept-2-5
Acessado em 01/09/2020

CHIROLLI, R. J.; VANDERLEI, L. C. M.; PACAGNELLI, F.; SISCOUTTO, R. A.; L. **Sistema Adaptativo De Realidade Virtual Para Avaliação E Reabilitação Cardiovascular**; In: Encontro Nacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (ENEPE/2017), Presidente Prudente. 2017. p.43 – 43

ERLINA, T.; PUTRI, R. E; SAPUTRA, R. **"A Smart Health System: Monitoring Comatose Patient's Physiological Conditions Remotely,"** 2018 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI), Bandung - Padang, Indonesia, 2018, pp. 465-469, doi: 10.1109/ICITSI.2018.8696094.

GUANGZHOU, **Datasheet: Bluetooh Module HC 06**, disponível em: https://www.olimex.com/Products/Components/RF/BLUETOOTH-SERIAL-HC-06/resources/hc06.pdf, Acessado em 25/08/2020

HOLANDA JUNIOR, E., DA CRUZ, L. F., DA SILVA, V. J., RAIMUNDO, M. R. D. S. T., BARRETO, & LUCENA, V. F. **"I-Jack: Wearable system for collection and evaluation physiological data,"** 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, 2018, pp. 1-4. https://doi.org/10.1109/ICCE.2018.8326191.

INTERLINK ELETRONICS. **Datasheet: FSR 402 Sensor resistivo de força,** disponível em:https://cdn.sparkfun.com/assets/8/a/1/2/0/2010-10-26-DataSheet-FSR402-Layout2.pdf,
Acessado em 25/08/2020. https://doi.org/10.46732/actafish.2020.8.1.25-29

ISPSAUDE, **Respiron Volumétrico Adulto,** disponível em: https://www.ispsaude.com.br/respiron-volumetrico-adulto-respivol-5l-verde-ncs--p-ME04837A
Acessado em 02/09/2020

JENITHA, T.; JEYASHEELI, P. G.; E RAJI, A.; **"IoT based classification of vital signs data for chronic disease monitoring,"** 2016 10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO), Coimbatore, 2016, pp. 1-5. https://doi.org/10.1109/ISCO.2016.7727048.

KINI, V.; PATIL, C.; BAHADKAR, S.; PANANDIKAR, S.; SREEDHARAN, A.; **"Low Power Wireless Health Monitoring System,"** 2015 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Kochi, 2015, pp. 980-986.
https://doi.org/10.1109/ICACCI.2015.7275738

KITCHENHAM B, BRERETON OP, BUDGEN D, TURNER M, BAILEY J, LINKMAN S. **Systematic literature reviews in software engineering - a systematic literature review**. Inf. Softw. Technol., Butterworth-Heinemann, Newton, MA, USA, v. 51, n. 1, p. 7–15, jan. 2009. ISSN 0950-5849. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>.
https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009

MAHANTY, B., MONDAL, S., SAHU, U., PATRA, S., & MANDAL, D. **"Human health monitoring system based on piezoelectric smart sensor,"** 2016 International Conference on Computer, Electrical & Communication Engineering (ICCECE), Kolkata, 2016, pp. 1-4. https://doi.org/10.1109/ICCECE.2016.8009535.

MAXIM. **Datasheet: MAX30100 Oximetro de pulso e sensor de frequência cardíaca IC para saúde vestivél**, disponivel em: https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30100.pdf. Acessado em 25/08/2020

NDUKA, A., SAMUAL, J., ELANGO, S., DIVAKARAN, S., UMAR, U., & SENTHILPRABHA, R. **"Internet of Things Based Remote Health Monitoring System Using Arduino,"** 2019 Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), Palladam, India, 2019, pp. 572-576. https://doi.org/10.1109/I-SMAC47947.2019.9032438.

OMRON, **Dispositivo medidor de pressão HEM-7113**, disponível em: https://site.omronbrasil.com/pt_BR/product/monitor-pressao-arterial-braco-automatico**,** Acessado em 25/08/2020

PHILIPS, **Dispositivo cardiovascular**, disponível em: https://www.philips.com.br/healthcare/product/HC860306/pagewriter-tc30-cardiograph, Acessado em 25/08/2020. https://doi.org/10.46732/actafish.2020.8.1.25-29

SAMSUNG, **Dispositivos S Health**, disponível em:https://www.samsung.com/pt/apps/samsung-health/, Acessado em 25/08/2020;

SILVA, M. V.; PACAGNELLI, F. L.; SISCOUTTO, R. A.; **O Uso De Realidade Virtual Em Exercícios Respiratórios Para Controle De Pico Pressórico Em Pacientes Hipertensos;** In: ENEPE - Encontro Nacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2018, v.1. p.30 – 30, Presidente Prudente.

SISCOUTTO, R.A.; COSTA, R. **Realidade Virtual e Aumentada: Uma abordagem tecnológica. Editora SBC - Sociedade Brasileira de Computação**, Livro do Pré-Simpósio X Symposium on Virtual and Augmented Reality João Pessoa – PB, 2008.

SUTAR, R. G; KOTHARI A. G; KESKAR, A. G. **"Development of an embedded system for real time Heart Rate Variability analysis,"** *2013 13th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, Surat Thani, 2013, pp. 288-292. https://doi.org/10.1109/ISCIT.2013.6645866.