

MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS EM ALUNOS DE ACADEMIAS UTILIZANDO REDE DE SENSORES SEM FIO

Gabriel Bruch Mandelli¹, Rogério Antônio Casagrande²

Resumo: As redes de sensores sem fio têm atraído crescente atenção dos meios acadêmico e industrial, com diversas áreas de aplicação e entre elas, a saúde. Aliada ao avanço da tecnologia, a busca por uma vida mais saudável nos últimos anos fez com que a utilização de dispositivos vestíveis tivesse um grande salto pelos praticantes de atividades físicas e que o monitoramento dos sinais vitais em atletas ou praticantes de atividades físicas é de fundamental importância. As academias tornaram-se uma das principais escolhas da população na busca da prática sistemática de exercício físico. Neste contexto, esta pesquisa tem por objetivo aplicar o conceito de rede de sensores sem fio no desenvolvimento de um protótipo de RSSF que deverá capturar e apresentar os dados de frequência cardíaca e temperatura corporal de alunos em academias. O protótipo é composto por dois nós, ou módulos, sendo um módulo coordenador e um módulo sensor: o módulo sensor consiste em um protótipo de dispositivo vestível capaz de capturar os dados de frequência cardíaca, utilizando sensor ECG, e temperatura corporal; e o coordenador, por sua vez, recebe os dados do sensor e transmite à um computador. Os resultados apontaram que o protótipo desenvolvido na pesquisa apresenta uma diferença estatisticamente significativa quando comparado à um oxímetro, a qual foi justificada pelo algoritmo utilizado no módulo sensor.

Palavras-chave: Rede de sensores sem fio. ZigBee. Sensores. Monitoramento. E-Health. Academias.

ABSTRACT: Wireless Sensor Networks have attracted increasing attention from academia and industry, with different application areas, including health. Allied to the advancement of technology, the search for a healthier life in recent years has made the use of wearable devices take a big leap by practitioners of physical activities and

¹ gabriel.bmandelli@gmail.com

² roc@unesc.net

that monitoring vital signs in athletes or practitioners of physical activities is essential importance. Gyms have become one of the population's main choices in the pursuit of systematic physical exercise. In this context, this research aims to apply the concept of wireless sensor network in the development of a WSN prototype that should capture and present data on heart rate and body temperature of practitioners of physical activities in gyms. The prototype consists of two nodes, or modules, being a coordinator module and a sensor module: the sensor module consists of a wearable device prototype capable of capturing heart rate data, using an ECG sensor, and body temperature; and the coordinator, in turn, receives the data from the sensor and transmits it to a computer. The results showed that the prototype developed in the research presents a statistically significant difference when compared to an oximeter, which was justified by the algorithm used in the sensor module.

Keywords: Wireless Sensor Network. ZigBee. Sensors. Monitoring. E-Health. Gyms.

1 INTRODUÇÃO

O mercado de tecnologias se desenvolveu de maneira ágil, concedendo diversas opções de equipamentos e dispositivos tecnológicos cotidianamente presentes na vida do ser humano, de forma compacta e convergente. Neste cenário surgem as tecnologias vestíveis, sendo estas definidas como dispositivos utilizados como acessórios estéticos que podem ser combinados com peças de roupas. Estes dispositivos também oferecem funções como transmissões de dados, acesso à Web, acompanhamento de funções vitais do corpo humano, dentre outras funcionalidades convergidas em um único equipamento (CANTANHEDE et al, 2018).

Com o avanço da tecnologia tornou-se possível recolher dados do mundo físico e transportá-los ao digital. Dessa forma pode-se unir o útil ao agradável quando se trata de assuntos como por exemplo, a saúde em conjunto com tecnologia.

Uma série de tecnologias tem sido usadas em aplicações de monitoramento médico com resultados bem sucedidos. Dentre elas, as redes de sensores sem fio (RSSF) estão presentes em um grande número. Devido ao seu rápido desenvolvimento, as RSSFs estão se tornando cada vez mais populares no campo científico e tecnológico (KIOKES et. al., 2014, tradução nossa).

Nos últimos anos as RSSFs têm atraído crescente atenção dos meios acadêmico e industrial devido a seu enorme potencial em diversos campos de aplicação. Atualmente, em grande parte dos estudos em RSSFs, a rede é assumida a abranger um grande número de dispositivos sensores dispersos sobre uma área de interesse (OLIVEIRA, 2015).

Uma RSSF pode ser definida como um sistema distribuído composto por nós sensores autônomos. Eles cooperam entre si em uma estrutura *ad-hoc* com o objetivo de realizar o sensoriamento de determinada região ou processo. As RSSFs podem ser utilizadas tanto no monitoramento quanto no controle de ambientes e processos (GARCIA et al., 2012, tradução nossa).

Os sensores são compostos normalmente de processador, rádio, memória e fonte de alimentação. Cada nó é equipado com uma variedade de sensores, tais como: acústico, sísmico, infravermelho, câmera de vídeo, temperatura e pressão. Esses nós podem ser organizados em grupos onde pelo menos um dos sensores deve ser capaz de detectar um evento na região, processá-lo e tomar uma decisão se deve fazer ou não uma difusão (broadcast) do resultado para outros nós (MAGGI, 2015).

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado com foco na utilização de redes de sensores sem fio foram encontradas pesquisas aplicadas em diversas áreas, mas poucas se utilizando do protocolo *ZigBee* no monitoramento de dados vitais. Oliveira (2015) propõe um estudo aprofundado com o objetivo de realizar a análise de viabilidade de aplicação do protocolo *ZigBee* em RSSFs, e obteve como achado que o protocolo é viável e satisfatório nos requerimentos funcionais para aplicações de RSSFs de baixo custo e baixa potência, com destaque para os quesitos de gerenciamento de energia, interoperabilidade, auto-organização. Gonsalves e Siscoutto (2020), por sua vez, apresentaram uma solução sem fio, de baixo custo, para monitoramento de sinais vitais em tempo real utilizando comunicação *Bluetooth* e Arduino. Os testes demonstraram a eficácia e a corretude da solução, demonstrando uma solução viável e prática. Chang et. al. (2012) avaliou a aplicação de uma RSSF em um sistema de monitoramento de sinais vitais para lares de idosos, utilizando protocolo *ZigBee*, mostrando na ocasião que o sistema de monitoramento reduziu a carga de trabalho dos cuidadores e melhorando a qualidade de atendimento.

Aliada ao avanço da tecnologia, a busca por uma vida mais saudável nos últimos anos fez com que a utilização de dispositivos vestíveis tivesse um grande salto

pelos praticantes de atividades físicas, principalmente pelo baixo custo dos dispositivos que as novas tecnologias proporcionaram.

Kiokes et. al. (2014) diz que o monitoramento dos sinais vitais em atletas ou praticantes de atividades físicas, principalmente durante o treinamento, é de fundamental importância e Kyriacos et. al. (2011) afirma que este monitoramento auxilia na identificação dos primeiros alertas de deterioração fisiológica e limita o erro humano, a fim de proporcionar uma resposta rápida à eventos adversos de saúde.

As academias tornaram-se uma das principais escolhas da população na busca da prática sistemática de exercício físico. Ademais, além das academias serem de fácil acesso, seu espaço também conta com todos os recursos necessários para atender distintos objetivos e exigências de cada público. Estes aspectos tendem a favorecer as academias pelo interesse de indivíduos na busca de práticas de atividade física, e suas vantagens, no local (PORTUGAL et al, 2017).

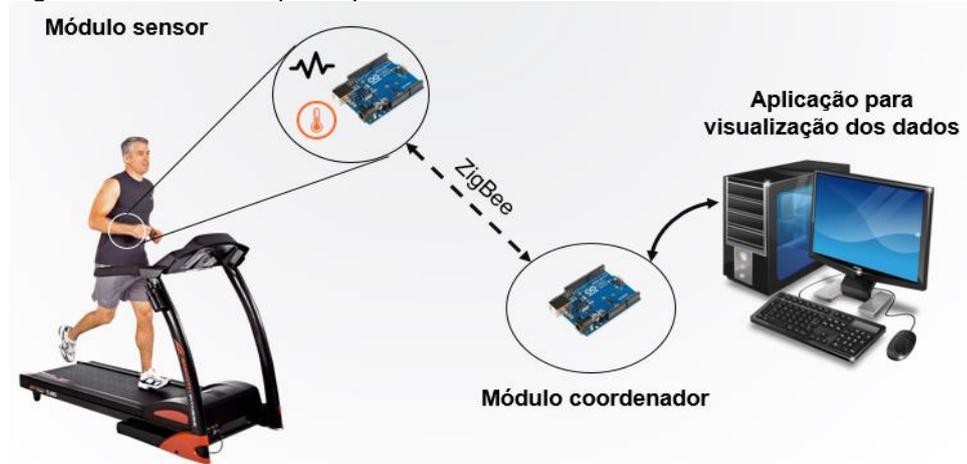
Portanto, esta pesquisa tem por objetivo aplicar o conceito de rede de sensores sem fio no desenvolvimento de um protótipo que deverá capturar e apresentar os dados de frequência cardíaca e temperatura corporal de alunos em academias.

Os objetivos específicos desta pesquisa consistem em: identificar os componentes que compõem uma rede de sensores sem fio; desenvolver um protótipo de RSSF, aliado ao conceito de dispositivo vestível, para capturar dados vitais de usuários; desenvolver uma aplicação para visualização dos dados capturados; integrar o protótipo de RSSF com a aplicação de visualização dos dados; avaliar os resultados obtidos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta é uma pesquisa aplicada, de base tecnológica e descritiva, com corte transversal. Foi desenvolvido um protótipo aplicando o conceito de rede de sensores sem fio para monitorar os dados de frequência cardíaca e temperatura corporal em alunos de academias. O protótipo constitui-se em dois módulos, denominados módulo sensor e coordenador, e uma aplicação para visualização dos dados coletados pelo módulo sensor (**Figura 1**).

Figura 1 - Módulos do protótipo



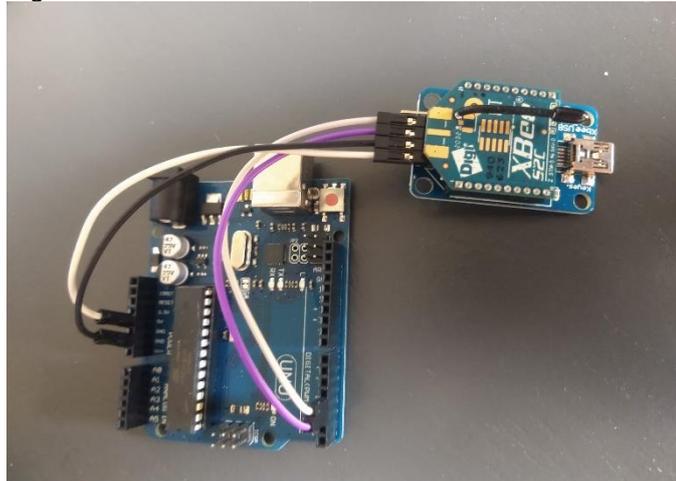
Fonte: Autor

O módulo sensor consiste em um protótipo de dispositivo vestível capaz de capturar os dados de frequência cardíaca e temperatura corporal do usuário e enviar via comunicação sem fio para o módulo coordenador. O coordenador, por sua vez, se mantém conectado a um computador por conexão USB para receber os dados do módulo sensor e quando recebidos, repassar os dados via porta serial para o computador. A aplicação *desktop* se encarrega de monitorar a porta serial conectada com o módulo coordenador e apresentar os dados de frequência cardíaca (ou BPM) e temperatura corporal do usuário recebidos do módulo sensor, a fim de disponibilizar a informação para os profissionais responsáveis pelo treino do aluno.

2.1 MÓDULO COORDENADOR

O módulo coordenador é composto por uma plataforma de prototipação Arduino modelo Uno, um módulo XBee modelo S2C, responsável pela comunicação sem fio utilizando o protocolo ZigBee, e um adaptador XBee USB para fazer a conexão entre o módulo XBee e o Arduino (**Figura 2**). Sua função é receber os dados enviados pelo módulo sensor via comunicação sem fio e replicá-los em uma porta serial, utilizada para a comunicação com a aplicação *desktop*.

Figura 2 - Módulo Coordenador



Fonte: Autor

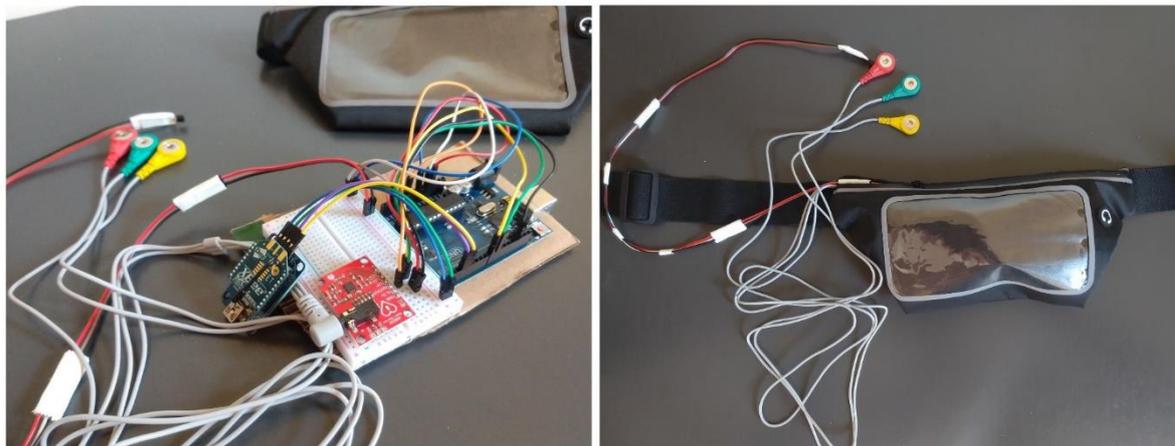
O primeiro passo na montagem do coordenador foi a configuração do módulo XBee S2C. Para realizar a configuração foi utilizado o *software* XCTU versão 6.5.6, disponibilizado gratuitamente pela empresa Digi. No XCTU foi necessário identificar a porta USB que o adaptador XBee está conectado e selecionar o módulo para configuração. Depois de selecionado, o *firmware* do módulo foi atualizado para função 802.15.4 TH, a propriedade *Channel* foi informada como “C”, o *PAN ID* informado como “2021”, e a propriedade *Coordinator Enable* foi informada como “Coordinator”, ativando assim a função de nó coordenador da rede. Este é o módulo que vai iniciar a rede e receber informações do módulo sensor (ou dos módulos, quando possuir mais de um).

O desenvolvimento do programa lógico se deu utilizando Arduino IDE versão 1.8.15. Na parte de configuração foi iniciado o canal de comunicação serial padrão do Arduino, que posteriormente foi empregado na aplicação *desktop*, e também iniciou-se o canal de comunicação com o módulo XBee, utilizando a biblioteca *SoftwareSerial.h*. Esta biblioteca permite a comunicação serial no Arduino. A parte de execução do programa voltou-se para a verificação constante da comunicação com o módulo XBee e, caso houvesse informação a receber, o programa capturaria a informação e a escreveria na porta serial. Neste momento não foi empregada nenhuma regra para estruturação ou processamento dos dados, que acontece no módulo sensor.

2.2 MÓDULO SENSOR

O módulo sensor é composto por uma plataforma Arduíno modelo Uno, um módulo XBee modelo S2C, um adaptador XBee USB, um sensor de temperatura LM35, um módulo ECG Ad8232 e uma bateria de 9v. Para acoplar o módulo utilizou-se um acessório que é fixado na cintura do usuário, simulando assim um dispositivo vestível (**Figura 3**).

Figura 3 - Módulo Sensor



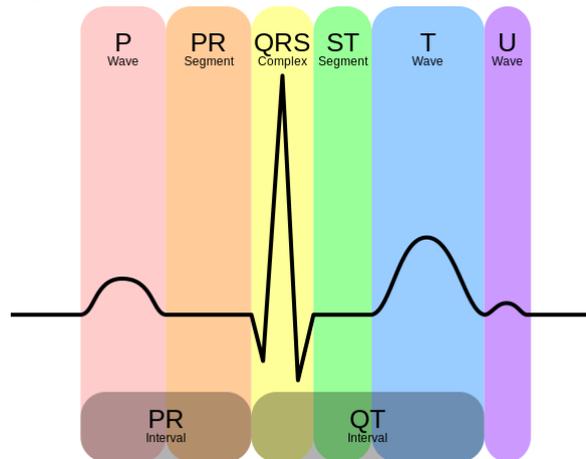
Fonte: Autor

A configuração do XBee deste módulo é semelhante à do coordenador, com a diferença apenas na propriedade *Coordinator Enable*, que foi informada como “*End Device*” pois é o módulo que captura os dados e envia ao coordenador.

O sensor de temperatura LM35 não precisou de calibração externa para ser utilizado. Ele fornece os valores de temperatura dentro da faixa de -55°C à 150°C . O LM35 é um sensor analógico e tem variação de 10 mV (0.010 Volts) por grau *celsius*. Sendo assim, foi preciso desenvolver um algoritmo de conversão do valor analógico do sensor para chegar ao valor final de temperatura em graus *celsius*.

O módulo Ad8232 é um bloco de condicionamento de sinal integrado para aplicações de medição de ECG e monitoramento da frequência cardíaca. O ECG é o registro das mudanças elétricas que acompanham os batimentos cardíacos. Três ondas reconhecíveis acompanham cada batimento cardíaco, sendo elas a onda P, o complexo QRS, conhecido como pico R, e a onda T. O complexo QRS representa o início da despolarização ventricular, quando o potencial de ação cardíaco se propaga pelos ventrículos. Logo após o início do complexo QRS, os ventrículos começam a se contrair, onde a duração normal deve estar entre 0,06 e 0,12 segundos. (MANENTI, 2018).

Figura 4 - Ciclo cardíaco

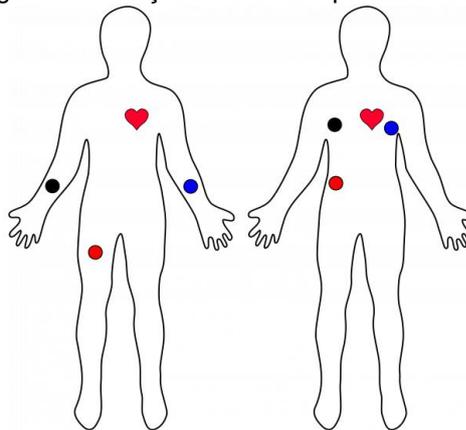


Fonte: SparkFun

É no complexo QRS que os maiores valores são obtidos na leitura analógica do módulo Ad8232 e por isso o complexo foi utilizado para aferição da frequência cardíaca no algoritmo do módulo sensor.

Os impulsos elétricos do coração são detectáveis na superfície do corpo mediante a aplicação de eletrodos. Para ECG de 3 derivações, ou seja, 3 eletrodos a serem fixados como é o caso do módulo Ad8232, existem algumas posições típicas a serem utilizadas conforme mostra a figura 5.

Figura 5 - Posições indicadas para eletrodos



Fonte: SparkFun

2.2.1 Montagem do Circuito

Para auxílio na conexão dos módulos foi utilizado uma *protoboard* de 400 pontos. O sensor LM35 e o adaptador XBee foram alimentados com tensão 5v. O módulo Ad8232 possui tensão de operação diferente dos outros componentes, de

3.3v. Por fim, a alimentação do circuito deu-se por uma bateria 9v conectada diretamente ao Arduino.

2.2.2 Desenvolvimento do programa lógico

Para desenvolvimento do programa lógico deste módulo foi utilizado o Arduino IDE em sua versão 1.8.15. Assim como no módulo coordenador, o programa deste módulo é dividido em duas partes: configuração (*setup*) e execução (*loop*).

Na configuração foi iniciada a comunicação serial com o XBee, novamente utilizando a biblioteca *SoftwareSerial.h*, e também foram informados os pinos utilizados no Arduino.

Na execução o primeiro passo do programa é verificar se algum eletrodo não está conectado ao corpo do usuário e caso haja algum desconectado, o programa ignora a execução atual e não faz a medição dos valores de frequência cardíaca e temperatura. Caso não haja eletrodos desconectados, o programa faz a leitura dos valores e os escreve no canal serial do módulo XBee.

Para identificar o valor da temperatura em graus *celsius* com o sensor LM35 foi preciso converter o valor analógico obtido do sensor em tensão elétrica de saída. Para essa conversão foi utilizada a equação (1) onde $V_{leitura}$ é o valor analógico obtido, V_{in} é a tensão de operação (5v) e V_{out} é a tensão de saída, resultado da equação.

$$V_{out} = \frac{V_{in} * V_{leitura}}{1024} \quad (1)$$

Com a tensão de saída e considerando que o sensor tem variação de 10 mV (0.010 Volts) por grau *celsius*, divide-se a tensão por 0,010 e o valor da temperatura em graus *celsius* é obtido. Na tentativa de diminuir a variação do valor final de temperatura obtido, o algoritmo faz um total de 1000 leituras e faz o cálculo de média.

Em pesquisas realizadas na literatura sobre algoritmos de detecção de frequência cardíaca utilizando ECG foram encontradas referências que aproveitam os picos R (complexo QRS) e seus intervalos. Em específico o algoritmo de Pan e Tompkins (1985) que teve grande avanço na época da sua publicação e é o artigo mais citado relacionado à detecção de QRS e ainda hoje, continua sendo um algoritmo

que pode se adaptar rapidamente às mudanças de sinal e obter uma detecção precisa dos batimentos.

Nesta pesquisa foi desenvolvida uma adaptação do algoritmo, onde os intervalos dos picos R são registrados 4 vezes e após, uma média é calculada para assim obter o valor de batimentos por minuto (BPM) final. A intenção em utilizar um “n” (número de registros dos picos R citado anteriormente) menor nesta pesquisa se deu para que a resposta do módulo sensor pudesse ser rápida, com tempo menor de atualização dos valores a cada ciclo do algoritmo.

Ao final do algoritmo, e já com os valores de BPM e temperatura, acontece a escrita dos valores no canal de comunicação serial do módulo XBee, para que seja enviado ao módulo coordenador. Os valores são enviados em uma variável de texto, separados pelo caracter *pipe* (|), não sendo necessário implementar qualquer protocolo visto que os módulos XBee foram configurados e já estão prontos para se comunicar. O algoritmo possui um *delay* de 2 segundos para cada ciclo, sendo este um tempo seguro no envio das informações ao módulo coordenador.

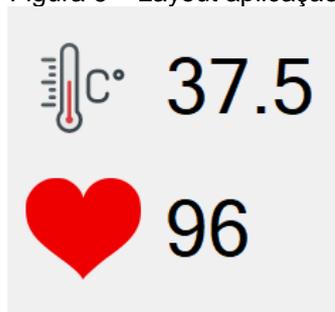
2.3 APLICAÇÃO DESKTOP

A aplicação para visualização dos dados foi desenvolvida utilizando Microsoft Visual Studio Community 2019 em sua versão 16.3.6. A parte visual da aplicação foi desenvolvida utilizando-se dos componentes visuais da biblioteca *Windows Forms*, oferecida pelo Visual Studio para projetos do tipo *Windows Application*. A parte lógica da aplicação foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação C# (CSharp).

A conexão entre a aplicação e o módulo coordenador se deu pela porta USB do computador. Para realizar a comunicação serial foi utilizada a biblioteca *SerialPort*, que também permitiu a escuta na aplicação por dados recebidos do coordenador por meio do método *DataReceived* oferecido pela biblioteca.

Caso haja informação recebida do módulo coordenador, a aplicação realiza o tratamento necessário de identificação das informações de BPM e temperatura e apresenta-as em tela para o usuário.

Figura 6 – Layout aplicação desktop



Fonte: Autor

2.4 MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Nesta pesquisa realizaram-se medições experimentais, portanto submeteu-se o projeto ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) tendo sido aprovado pelo parecer nº 5.011.479 (Anexo A). Também solicitou-se autorização para utilização das dependências da academia UNESC no experimento (Anexo B).

O cálculo do tamanho mínimo da amostra foi realizado utilizando-se o software Bioestat versão 5.0 (Ayres et al., 2007). O desfecho utilizado para o cálculo foi a diferença média dos parâmetros avaliados entre o protótipo e a ferramenta padrão conforme Maggi (2015) ($1,0 \pm 0,4$). Ainda para o cálculo foi utilizado um nível de significância $\alpha = 0,05$ e $\beta = 0,20$ (poder de 80%), o que resultou em uma amostra mínima de 3 indivíduos. Para cada indivíduo foram coletadas 20 observações de temperatura e 20 observações de frequência cardíaca, totalizando 60 observações de cada parâmetro.

A pesquisa contou com a participação de três voluntários. Os critérios de inclusão dos voluntários consistiram em: ser do sexo masculino, frequentar a academia 2 vezes ou mais por semana e maiores de 18 anos. Como critério de exclusão, pessoas que faziam uso de equipamento marca-passo. O primeiro voluntário foi observado em situação de corrida em esteira, com média de 7km/h. O segundo, em situação de caminhada na esteira com uma média de 4km/h. E o terceiro participou em situação de repouso. Todos os voluntários foram observados por uma média de 10 minutos e tiveram 20 coletas de observação. Para avaliar o protótipo, um equipamento oxímetro (equipamento homologado para coleta de batimentos) foi utilizado em conjunto nas observações. As diferentes situações foram observadas na

tentativa de avaliar o protótipo e também o tempo de prática de exercício físico de cada voluntário.

Os dados coletados foram analisados em planilhas do software IBM Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versão 25.0. As variáveis foram expressas por meio de média e desvio padrão. Os testes estatísticos foram aplicados utilizando-se um nível de significância $\alpha = 0,05$ e, portanto, confiança de 95%. A distribuição das variáveis quanto a normalidade foi avaliada utilizando-se os testes de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov. A comparação das médias de BPM avaliadas por protótipo e oxímetro em cada voluntário, foi realizada por meio da aplicação dos testes t de Student para amostras pareadas e teste T de Wilcoxon. A comparação das médias de BPM entre os voluntários dentro do protótipo e também do oxímetro, foi realizada por meio da aplicação do teste H de Kruskal-Wallis seguido do post hoc teste de Dunn.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O protótipo de rede de sensores sem fio se demonstrou eficaz, com a comunicação entre os módulos sensor e coordenador acontecendo conforme o esperado. A aplicação para visualização dos dados se mostrou eficiente nas medições experimentais, com os dados atualizados em tempo real. Entretanto, o módulo sensor apresentou pontos negativos observados durante os testes e nas medições experimentais que serão apresentados a seguir.

O primeiro ponto se refere à captura do dado de temperatura corporal. O sensor LM35 e o módulo Ad8232 foram selecionados para este trabalho com base em pesquisas e experimentos prévios. Ambos os componentes sensores apresentaram resultados satisfatórios em experimentos separados. No entanto, em testes realizados no desenvolvimento do módulo sensor, ao unir os componentes no mesmo circuito o sensor LM35 passou a apresentar resultados não satisfatórios, com valores de temperatura que não corresponderam a valores reais de temperatura do corpo humano. Diversas ações foram realizadas na tentativa de identificar a origem da divergência, como alterações do algoritmo e montagem do circuito, mas que não obtiveram sucesso e devido ao prazo da pesquisa, optou-se por não considerar os valores de temperatura corporal nos resultados da mesma.

O módulo Ad8232, aliado ao algoritmo para captura de batimentos por meio de ECG, demonstraram resultados eficazes na captura dos dados de frequência cardíaca para esta pesquisa. Entretanto ao se comparar as observações realizadas do protótipo e do oxímetro nas medições experimentais, achados importantes são levantados conforme mostram as tabelas seguintes.

Na Tabela 1 apresenta-se a descrição dos voluntários participantes desta pesquisa. São apresentadas as variáveis quantitativas como idade, peso, altura, IMC, tempo que frequenta academia, bem como as qualitativas como classificação do IMC e se o voluntário possui alguma comorbidade. A tabela apresenta ainda a situação em que cada voluntário foi submetido no experimento da pesquisa.

Tabela 1 – Descrição dos voluntários da pesquisa

	Voluntário A	Voluntário B	Voluntário C
Idade (anos)	22	22	51
Sexo	Masculino	Masculino	Masculino
Peso (kg)	80	87	95
Altura (m)	1,78	1,80	1,80
IMC (kg/m ²)	25,2	26,9	29,3
Classificação IMC	Sobrepeso	Sobrepeso	Sobrepeso
Tempo de academia	1 ano	< 1 ano	< 1 ano
Marca-passo	Não	Não	Não
Comorbidade	Não	Não	Não
Uso de medicamento	Não	Não	Não
Situação*	Corrida 7km/h	Caminhada 4km	Repouso

*Valores aferidos conforme situação descrita para cada voluntário

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

A Tabela 2 apresenta as observações realizadas no experimento desta pesquisa. Percebe-se a semelhança entre protótipo e oxímetro na aferição do BPM dos voluntários, cujos resultados apresentaram uma margem de erro máxima de 3 batimentos por minuto em determinados momentos e em outros, os resultados são semelhantes.

Tabela 2 – Observações de BPM das medições experimentais

Observações	Voluntário A		Voluntário B		Voluntário C	
	Protótipo	Oxímetro	Protótipo	Oxímetro	Protótipo	Oxímetro
1	127	127	124	125	76	76
2	130	130	128	131	78	79
3	133	135	125	125	71	73
4	127	129	131	132	81	82
5	134	131	132	130	82	82
6	140	142	130	131	83	85

7	131	133	133	133	82	80
8	134	136	125	124	81	82
9	139	139	137	138	82	84
10	133	135	134	135	80	81
11	145	148	134	136	85	87
12	142	144	136	138	83	85
13	140	142	135	135	82	84
14	143	143	137	135	83	83
15	141	143	133	134	80	81
16	139	140	128	131	85	87
17	143	145	134	135	84	84
18	142	140	132	134	81	81
19	144	146	131	131	83	84
20	145	145	133	135	82	82

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Na Tabela 3 apresenta-se a comparação da homogeneidade entre as observações coletadas do protótipo e as observações do oxímetro. Para a comparação foi aplicado o teste H de Kruskal-Wallis. Percebe-se nesta tabela que para os voluntários A e B não há diferença estatisticamente significativa tanto para as observações do protótipo como para o oxímetro, sugerindo homogeneidade entre ambos. Porém, a diferença surge dos voluntários A e B para o voluntário C. Acredita-se que isto ocorreu pela semelhança de características e situações que foram submetidos os voluntários A e B, diferente do voluntário C.

Tabela 3 – Homogeneidade entre protótipo e oxímetro para os voluntários A, B e C

	BPM, média ± DP			Valor-p ^{††}
	Voluntário A n = 20	Voluntário B n = 20	Voluntário C n = 20	
Protótipo	137,60 ± 5,93 ^a	131,60 ± 3,88 ^{a,b}	81,20 ± 3,22 ^c	< 0,001
Oxímetro	138,65 ± 6,25 ^a	132,40 ± 4,03 ^{a,b}	82,10 ± 3,38 ^c	< 0,001

†† Valor obtido após aplicação do teste H de Kruskal-Wallis; ^{a,b,c}Letras distintas representam diferenças estatisticamente significativas após aplicação do *post hoc* teste de Dunn ($p < 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Na Tabela 4, por sua vez, comparou-se as observações coletadas do protótipo e do oxímetro para cada voluntário, a fim de avaliar se existe diferença estatisticamente significativa. Percebe-se que o valor-p ficou abaixo de 0,05 para ambos os voluntários, caracterizando-se dessa forma uma diferença estatisticamente significativa entre as observações do protótipo e oxímetro. Acredita-se que a diferença ocorreu devido ao algoritmo desenvolvido no módulo sensor possuir um *delay*

necessário para enviar os dados ao módulo coordenador, enquanto o oxímetro não necessita enviar informações à outro módulo remoto e trabalha em constante aferição dos batimentos cardíacos.

Tabela 4 – Comparação de observações Protótipo x Oxímetro

	n	BPM, média ± DP		Valor-p
		Protótipo	Oxímetro	
Voluntário A	20	137,60 ± 5,93	138,65 ± 6,25	0,007 [†]
Voluntário B	20	131,60 ± 3,88	132,40 ± 4,03	0,033 [‡]
Voluntário C	20	81,20 ± 3,22	82,10 ± 3,38	0,007 [‡]
Total	60	116,80 ± 25,88	117,72 ± 25,94	< 0,001 [‡]

[†] Valor obtido após aplicação do teste t de Student para amostras pareadas; [‡] Valor obtido após aplicação do teste T de Wilcoxon.

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Uma das preocupações desta pesquisa com a captura da frequência cardíaca utilizando os picos R do ECG era de que a movimentação do usuário produzisse ruídos e invalidasse as observações, entretanto o protótipo se mostrou resistente aos ruídos e capaz de identificar os picos R mesmo em situações de movimento do usuário. Tal resistência à ruídos também é identificada na pesquisa de Lopes et al (2019), que utilizou-se de eletrodos capacitivos para captura do ECG. Para identificar a frequência cardíaca, Lopes et al (2019) também empregou a medição dos picos R no ECG e como experimento, submeteu voluntários à posições de repouso e deitados. Em sua pesquisa, mostrou que os artefatos de movimento não prejudicam significativamente a detecção dos picos R e o cálculo da frequência cardíaca.

Outro ponto levantado com os experimentos é o consumo de energia do protótipo. Nesta pesquisa, o módulo sensor apresentou uma autonomia média de 3 a 4 horas com alimentação de bateria externa 9v e com apenas dois nós na rede, sendo o segundo nó o módulo coordenador. Paim (2017) observa em sua pesquisa que conforme aumenta o número de nós sensores da rede sensor sem fio, maior é o consumo médio da rede. Essa variação no resultado consumo médio da rede está relacionado a complexidade e a escalabilidade da rede, pois conforme vai aumentando o número de nós da rede, maior é a complexidade e a escalabilidade. Com isso, não pode-se afirmar que o protótipo desenvolvido nesta pesquisa terá um consumo de energia satisfatório quando submetido à uma rede com demasiados nós.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo aplicar o conceito de rede de sensores sem fio no desenvolvimento de um protótipo para captura e apresentação dos dados de frequência cardíaca e temperatura corporal de alunos em academias. O protótipo de RSSF, composto por um módulo sensor e um módulo coordenador, apresentou resultados eficazes na comunicação entre os módulos e também demonstrou ser de fácil configuração.

A aplicação desenvolvida para apresentação dos dados coletados pela RSSF apresentou ser eficiente. Com a atualização dos dados recebidos em tempo real, demonstrou-se grande utilidade e o quanto a tecnologia pode agregar no monitoramento dos treinos e prática de exercícios, tanto para usuários como para os profissionais de saúde responsáveis por acompanhar os treinamentos.

Nesta pesquisa o sensor LM35 não se mostrou eficaz em um circuito com outros componentes e à uma tensão de operação de 5v. Em experimentos realizados, o sensor apresentou divergência nos valores fornecidos e por isso suas observações foram desconsideradas nos resultados da pesquisa.

O algoritmo desenvolvido para aferir a frequência cardíaca por meio dos picos R no ECG se mostrou eficaz para esta pesquisa, com baixas taxas de erro quando comparado a um oxímetro. Entretanto, acredita-se que o *delay* necessário no ciclo do algoritmo, para que as informações do módulo sensor sejam enviadas ao módulo coordenador, produza uma diferença estatisticamente significativa entre protótipo e oxímetro.

Para trabalhos futuros sugere-se: utilizar outros modelos de termômetros corporais e também a captura de demais dados vitais importantes para monitoramento; realizar experimentos com o algoritmo a fim de diminuir a diferença entre o protótipo e oxímetro e buscar a melhora nos resultados da pesquisa; realizar experimentos com mais de um oxímetro e avaliar a confiabilidade dos resultados; realizar análises estatísticas na aplicação de visualização dos dados a fim de proporcionar recursos no monitoramento de treinos e melhorar o desempenho dos alunos.

REFERÊNCIAS

AYRES, M., AYRES JÚNIOR, M., AYRES, D.L. & SANTOS, A.A. 2007. **BIOESTAT – Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas**. Ong Mamirauá. Belém, PA.

CANTANHEDE, Lorena Renata Costa et al. COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR DE TECNOLOGIA VESTÍVEL: CARACTERÍSTICAS QUE INFLUENCIAM NA INTENÇÃO DE CONSUMO. **Revista Eletrônica de Administração**, v. 24, n. 3, p. 244-268, 2018.

CHANG, Yuan-Jen et al. Wireless sensor networks for vital signs monitoring: Application in a nursing home. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 8, n. 11, p. 685107, 2012.

GARCIA, A. S. et al. **Wireless sensor networks Zigbee applied on sewage treatment station**. IET Conference Publications. Anais...IET, 2012. Disponível em: <<https://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/cp.2012.0598>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

GONSALVES, A. dos S.; SISCOOTTO, R. A. SOLUÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA O MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS, EM TEMPO REAL, FAZENDO USO DE SENSORES E ARDUINO. **Colloquium Exactarum. ISSN: 2178-8332, [S. l.]**, v. 12, n. 2, p. 102–118, 2020. Disponível em: <<http://journal.unoeste.br/index.php/ce/article/view/3817>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

KIOKES, George et al. Performance evaluation of a communication protocol for vital signs sensors used for the monitoring of athletes. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 10, n. 6, p. 453182, 2014.

KYRIACOS, Una; JELSMA, J.; JORDAN, S. Monitoring vital signs using early warning scoring systems: a review of the literature. **Journal of nursing management**, v. 19, n. 3, p. 311-330, 2011. Disponível em: <<https://doi.org.ez318.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1365-2834.2011.01246.x>>. Acesso em: 21 abr. 2021.

LOPES, Lucas Bertinetti et al. Sistema simples com eletrodos capacitivos para monitoramento da frequência cardíaca através de contato indireto. **Revista Brasileira De Física Médica**, v. 13, n. 2, p. 47-52, 2019.

MAGGI, Thales Fernandes. **MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS UTILIZANDO RSSF**. 2015. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015.

MANENTI, Maitê Thomazi. **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO DO SINAL ELÉTRICO CARDÍACO E DIAGNÓSTICO DE FIBRILAÇÃO ATRIAL**. 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/191112>>. Acesso em: nov. 2021.

OLIVEIRA, Thiago de Almeida. **REDES DINÂMICAS DE SENSORES SEM FIO ZIGBEE PARA APLICAÇÕES DE MONITORAMENTO E CONTROLE**. 2015. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia de Bauru - Unesp, Bauru, 2015.

PAIM, Renan Trindade. **Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) para monitoramento por geolocalização para pecuária: estudo de caso empregando o simulador NS-2**. 2017. Disponível em: <
https://sites.unipampa.edu.br/gama/files/2019/07/tcc_renan_trindade-compressed.pdf>. Acesso em: nov. 2021.

PAN, Jiapu; TOMPKINS, Willis J. A real-time QRS detection algorithm. **IEEE transactions on biomedical engineering**, n. 3, p. 230-236, 1985.

PORTUGAL, Vinicius Braga Facure; ZANETTI, Hugo Ribeiro; ABRAHÃO, César Augusto França; LEITE, Marco Aurélio Ferreira de Jesus (org.). **Perfil de praticantes de exercícios em academias de Uberaba, Minas Gerais**. Arquivos de Ciências do Esporte, Uberaba - Mg, p. 40-43, 20 jul. 2016. Disponível em:
[http://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/aces/article/view/1654#:~:text=Resultados%3A%20A%20maioria%20dos%20praticantes,local%20\(81%2C3%25\)](http://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/aces/article/view/1654#:~:text=Resultados%3A%20A%20maioria%20dos%20praticantes,local%20(81%2C3%25)). Acesso em: 03 jun. 2021.

Anexo A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos



RESOLUÇÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UNESC, reconhecido pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP)/ Ministério da Saúde analisou o projeto abaixo:

Parecer n.: 5.011.479

CAAE: 50583421.6.0000.0119

Pesquisador(a) Responsável: ROGERIO ANTONIO CASAGRANDE

Pesquisador(a): GABRIEL BRUCH MANDELLI

Título: MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS EM ACADEMIAS UTILIZANDO REDE DE SENSORES SEM FIO.

Este projeto foi aprovado em seus aspectos éticos e metodológicos, de acordo com as Diretrizes e Normas Internacionais e Nacionais. Todas e qualquer alteração do Projeto deverá ser comunicada ao CEP. Os membros do CEP não participaram do processo de avaliação dos projetos onde constam como pesquisadores.

Criciúma, 01 de outubro de 2021


Marco Antônio da Silva
Coordenador do CEP

Anexo B – Carta de Aceite para utilização das dependências da Academia da UNESC

DocuSign Envelope ID: CBEC4B23-D5D4-4450-961F-AB8F995A2F9D

CARTA DE ACEITE

Declaramos, para os devidos fins que se fizerem necessários, que concordamos em disponibilizar as dependências da academia da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, localizada na Av. Universitária, nº 1105 - Bairro Universitário, Criciúma/SC - CEP 88806-000, para o desenvolvimento da pesquisa intitulada “MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS EM ACADEMIAS UTILIZANDO REDE DE SENSORES SEM FIO” sob a responsabilidade do professor responsável Prof. Dr. Rogério Antônio Casagrande e pesquisador Gabriel Bruch Mandelli do Curso Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, pelo período de execução previsto no referido projeto.

DocuSigned by:
Joni Márcio de Farias
B5C5D45D4686409...

Joni Márcio de Farias

Coordenador do Curso de Educação Física da UNESC