

SISTEMA ELETRÔNICO PARA MONITORAMENTO DE ÚLCERAS DE PRESSÃO SOB O CONCEITO DE INTERNET OF THINGS

B.M. Pedroso, A.P. Silva, S.R.M.S. Boschi, T.A. Scardovelli

Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, Brasil
e-mail: brunomedina@umc.br

Resumo: Sistemas de telemedicina têm sido aplicados nos últimos anos em processos de monitoramento, intervenção e diagnóstico em sistemas de saúde. Uma área que se beneficia destes sistemas de monitoramento remoto é o controle de úlceras de pressão. Porém, atualmente no mercado, não existe um equipamento que efetue o monitoramento de pressão de superfície à distância e que envie os dados a um profissional de saúde. Com isso, foi desenvolvido um sistema composto por um dispositivo eletrônico que se conecta com a internet, utilizando o conceito da *Internet of Things* que apresenta troca de informações mais rápida devido ao fato de efetuar a conexão direta com o equipamento, sem necessidade de um servidor. Esse sistema monitora os níveis de pressão na região isquiática, possibilitando a prevenção do aparecimento das úlceras, juntamente com a temperatura corporal e frequência cardíaca. Foram realizados testes no sistema de sensoriamento que apresentou pouca variação em comparação com sensores calibrados, demonstrando boa estabilidade e confiabilidade na leitura das variáveis.

Palavras-chave: Telemedicina, úlceras de pressão, internet das coisas.

Abstract: *Telemedicine systems have been applied in the past years in monitoring processes, intervention and diagnostic of healthcare systems, an area that benefits from these remote monitoring systems is the control of pressure ulcers. Nowadays there is no equipment to monitor surface pressure by distance, and send this data to a healthcare professional. Therefore, a development possibility is to build a device that measures the surface pressure and physiological signals, sending this data to a healthcare professional through distance, making a real-time monitoring and preventing diseases. Thereby, was developed a system consisting of an electronic device that connects to the Internet over the concept Internet of things, which features faster data exchange due to the fact to make a direct connection to the equipment without the need of a server. This system monitors the pressure levels in the ischial region, body temperature and heart beating, preventing the onset of ulcers. Tests were conducted in the sensing system that presented less variation, compared with calibrated sensors, showing good stability and reliability in variables reading.*

Keywords: *Telemedicine, pressure ulcer, Internet of things.*

Introdução

Sistemas de telemedicina ou medicina a distância, têm sido alvo de muitas pesquisas nos últimos anos, sendo iniciada no ano de 1959. Durante a década de 1980 os esforços foram concentrados na expansão desta tecnologia, sendo que uma área com grande avanço tecnológico foi a da telereabilitação [1].

Devido ao fato do paciente permanecer acamado por um longo período, é provável que comece a desenvolver um quadro de úlceras de pressão, que são na grande maioria dos casos, observadas em protuberâncias ósseas na região inferior do corpo acarretando em aproximadamente 95% dos casos; podendo ocorrer também na região do cotovelo, cabeça, entre outros. As úlceras de pressão são lesões ocasionadas em tecidos devido à falta de irrigação sanguínea proveniente do comprometimento parcial ou total dos capilares ou vasos sanguíneos responsáveis pela nutrição e oxigenação dos tecidos por uma força externa ocasionada pelo fato de o paciente permanecer imóvel em uma única posição, ocasionando este comprometimento do tecido. Este comprometimento pode ir de uma pequena vermelhidão até os casos mais graves que acarretam na necrose completa do tecido podendo chegar a estrutura óssea, tornando o quadro irreversível [2].

Atualmente, estão dispostos no mercado uma gama de equipamentos que realizam o acompanhamento e transmissão de sinais vitais, como sistemas que enviam os sinais ECG (Eletrocardiograma) para um centro de tratamento via wireless em tempo real [3]. Outros dispositivos enviam os dados via internet através de um controlador e a resposta é visualizada na tela de um computador [4]. Tendo em vista a segurança das informações enviadas, foi criado um sistema de decodificação dos dados enviados pela internet através de uma transformada matemática [5].

Existem também sistemas que analisam a pressão e a temperatura em um ponto do paciente para verificar a possibilidade do desenvolvimento de úlceras de pressão, porém o monitoramento é feito apenas por um computador no próprio local [6]. Foi desenvolvido um sistema a base de sensores de pressão que enviam os dados a um *tablet* para quantificar os níveis de pressão, sendo esta comunicação via *bluetooth* [7].

Em relação ao conceito de comunicação da *internet of things*, esta tecnologia têm sido aplicada em programas de *Home Health* para veteranos nos Estados Unidos para analisar desde doenças como diabetes até

depressão, sendo aplicado em cerca de 17.000 pacientes, tendo uma diminuição de 19% de comparecimento aos hospitais [8].

Porém atualmente não existe equipamento que realize a função de monitoramento de sinais fisiológicos juntamente com o monitoramento de úlceras de pressão. Sendo assim o objetivo desta pesquisa é desenvolver e analisar a aplicação de um único equipamento para acompanhar os índices de pressão na região isquiática juntamente com alguns sinais vitais como temperatura corporal e frequência cardíaca, utilizando do conceito da *internet of things* para transmissão destes parâmetros a um profissional de saúde, diminuindo o tráfego de dados na rede, pois este tipo de tecnologia troca informações apenas quando solicitado.

Materiais e métodos

O sistema de monitoramento é composto por um dispositivo que permite a leitura dos sinais vitais (temperatura corporal e frequência cardíaca) juntamente com os índices de pressão na região isquiática. Estas informações são disponibilizadas em um *smartphone*, tablet ou computador a um profissional de saúde sob a tecnologia da *internet of things*. A Figura 1 exemplifica o esquema geral do projeto.

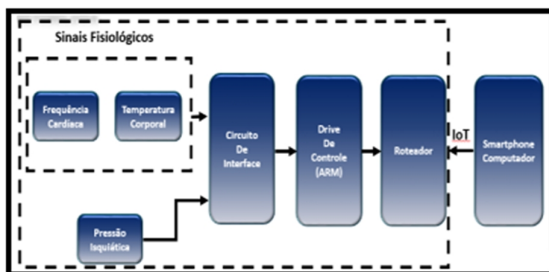


Figura 1: Esquema geral do sistema.

Sistema de Sensoriamento – Para leitura dos sinais de frequência cardíaca, utilizou-se o sensor da marca Pulse sensor, observado na Figura 2c, e os sinais são tratados no controlador. Seu funcionamento está baseado no princípio de sensores de infravermelho. Quando ocorre o batimento cardíaco os capilares aumentam seu volume devido a quantidade de sangue que é bombeada pelo coração, portanto este aumento volumétrico pode ser detectado por este tipo de sensor que emite um feixe de luz infravermelha sendo captado no outro lado do dedo; esta incidência de luz sofre variação quando o capilar aumenta seu tamanho, podendo assim medir o número de vezes que ocorre esta variação, consequentemente sendo possível medir a frequência cardíaca.

Para efetuarmos a leitura da temperatura corporal, foi utilizado o sensor *Melexis MLX90614ESF-BAA* com sistema de leitura infravermelho sem contato, com faixa de leitura de -70°C à 380°C com um controlador DSP (*Digital Signal Processor*) com resolução de 17 bits e saída de PWM (*Pulse Width Modulation*). Este sensor permite efetuar a leitura da temperatura corporal do paciente. O sensor é representado na Figura 2a.

Para análise dos índices de pressão na região isquiática, utilizou-se um sensor modelo GML692, sendo este do tipo célula de carga, com capacidade para 50kg, com resistência fixa de 1kohm, tensão de alimentação entre 5V e 10V, conforme visto na figura 2b.

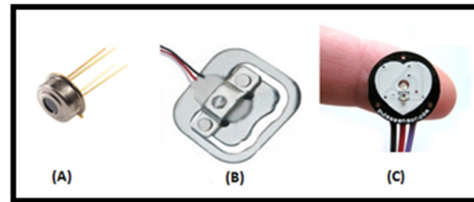


Figura 2: Sensores do sistema. a) Sensor de Frequência Cardíaca; b) Sensor de Temperatura Corporal; c) Sensor célula de carga.

Para tratamento do sinal do sensor de pressão foi utilizado um circuito a base de um divisor de tensão com um filtro *Butterworth* de 2ª ordem, para filtragem de interferências provenientes do circuito de aquisição de sinais do sensor, tendo um circuito final para amplificar o sinal a ser enviado ao controlador. O circuito é observado na Figura 3.

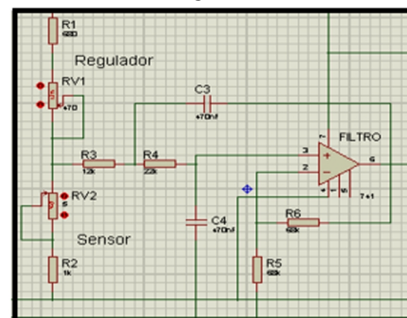


Figura 3: Filtro *Butterworth* de 2ª ordem.

A função de transferência deste filtro está compreendida à seguir:

$$G(s) = \frac{1}{(1 + \sqrt{2} \frac{s}{\omega_c} + (\frac{s}{\omega_c})^2)} \quad (1)$$

Depois de realizada a etapa de filtragem do sinal foi aplicado um circuito amplificador para aumentar o sinal, permitindo a leitura pelo controlador, conforme visto na Figura 4.

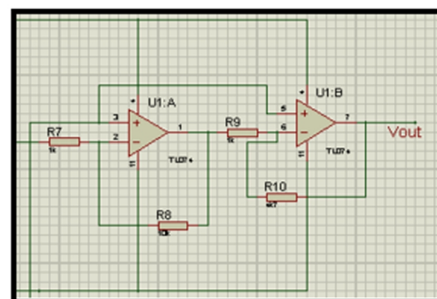


Figura 4: Circuito Amplificador

Com este circuito de condicionamento conseguiu-se

uma variação de 1mV por kg aplicado no sensor.

$$A_v = \frac{-R_f}{R_i} \quad (2)$$

Sistema de Controle – Como *drive* de controle optou-se pelo módulo Arduino MEGA com processador Atmega 2560 empresa Atmel. Como interface de desenvolvimento foi utilizada a IDE do Arduino, que permite uma interface amigável de programação com funções pré-estabelecidas de alguns parâmetros, como por exemplo, bibliotecas para desenvolvimento de programas com comunicação via internet.

O programa desenvolvido está baseado na linguagem C com funções da linguagem HTML, pois as páginas da internet são criadas no próprio controlador, tendo como base o princípio da *Internet of Things*.

Para garantir a conexão com o roteador a placa controladora transmite via módulo Serial as informações respectivas a toda configuração para comunicação, como por exemplo, os parâmetros do roteador como o endereço de IP, etc. Depois de realizada a conexão com o roteador a placa fica disponível para acesso interno (LAN) ou externo pela internet para realização das leituras dos sensores.

Como a página é criada em HTML, qualquer computador, *tablet* ou *smatphone* pode se conectar para acessar as informações do paciente, desde que conheça os endereços do drive. Para conexão com roteador foi utilizado um *drive* de comunicação específico, placa para ethernet W5100, o qual fornece acesso a rede através do protocolo TCP/IP, sendo assim necessário utilizar bibliotecas específicas.

Os sinais dos sensores são processados pelo algoritmo e disponibilizados na página de internet. Os dados observados na tela são atualizados a cada 3 segundos, tempo este sendo configurável via software da placa controladora.

Resultados

Após a integração de todos os sensores no *drive* de controle, as informações foram transmitidas para a página de internet criada no próprio código fonte do Arduino (Figura 5). Onde é possível acompanhar a variação de cada sensor e a atualização dos dados a cada três segundos.

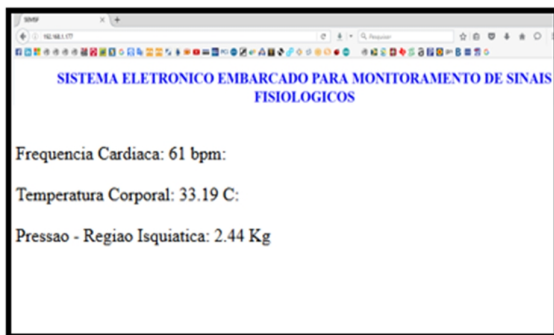


Figura 5: Página da internet construída pelo sistema de controle.

Para validação do sistema de monitoramento foram realizados protocolos de teste para o sensor de

frequência cardíaca, sensor de temperatura e sensor de pressão.

Para os testes com o sensor de frequência cardíaca, o sensor foi posicionado na falange distal do dedo indicador do pesquisador. Para evitar interferências na leitura foi realizada a isolamento luminosa do sensor. Para comparação das leituras efetuadas foi utilizado um medidor de pressão arterial calibrado (TechLine Z-46). Para comparação dos valores foram realizadas dez leituras (Tabela 1).

Tabela 1: Ensaio do sensor de Frequência Cardíaca.

Medição	Medidor (bpm)	Sensor (bpm)	Tempo de estabilidade (seg)
1	66	65	15
2	68	65	19
3	67	62	25
4	65	65	23
5	65	63	28
6	73	62	20
7	67	63	25
8	66	59	20
9	74	66	28
10	70	62	27

Analizando o tempo para estabilidade do sensor observou-se que a média foi de 23 segundos. O sensor de frequência cardíaca apresentou um desvio padrão de 2,097. Para evitar que o sensor receba interferência da luz ambiente, os testes foram realizados com uma fita vinil, isolando o sensor.

Depois de realizado o experimento com o sensor de frequência cardíaca foi realizado o teste com o sensor de temperatura. Para comparação das leituras efetuadas foi utilizado um termômetro calibrado (TechLine Ts 101). Os resultados da comparação entre os sensores podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Ensaio do sensor de Temperatura.

Medição	Temp. termômetro (°C)	Temp. sensor (°C)	Tempo de estabilidade (min : seg)
1	34,9	34,8	02:21
2	34,8	33,7	03:59
3	35,0	35,2	03:38
4	35,2	35,4	02:35
5	35,2	35,5	03:54
6	35,4	34,4	03:47
7	34,4	35,3	03:56
8	35,2	35,4	02:37
9	35,5	35,0	02:53
10	35,5	34,7	03:14

A média do tempo de estabilidade para o sensor de temperatura foi de 3 minutos e 17 segundos. Esta

variável foi comparada com um termômetro calibrado, onde a aquisição ocorreu ao mesmo tempo. O sensor de temperatura apresentou um desvio padrão de 0,56.

O monitoramento da temperatura torna-se importante devido ao fato de quanto maior for a temperatura na região passível de desenvolvimento de úlceras, maior é a probabilidade de atingir níveis mais profundos no tecido, sendo esta temperatura limite referenciada em torno de 35°C [6].

Os testes para o sensor de pressão foram baseados nas características da região isquiática, a qual o sensor será aplicado. Para os testes foi determinado um peso inicial para verificar o comportamento do sensor e o envio das informações à placa de controle. Para levantamento da equação do sensor foi utilizada carga de até 45kg com intervalos de 5kg (Figura 6), e para o teste de repetição, uma carga de 5kg (Tabela 3).

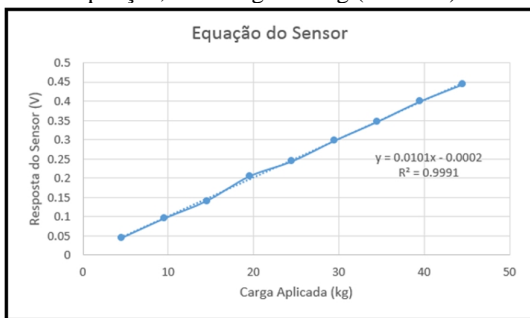


Figura 6: Equação do sensor.

Tabela 3: Ensaio de Repetição do sensor de Pressão.

Medição	Pressão na Região Isquiática (kg)
1	5
2	5,38
3	5,87
4	5,87
5	6,35
6	5,87
7	5,38
8	5,87
9	5,87
10	5,38
Média	5,68
Desvio Padrão	0,38

Discussão

De acordo com os resultados apresentados é possível observar que o sistema de sensoriamento apresenta estabilidade na leitura das variáveis. O sistema demonstra confiabilidade para que o profissional de saúde realize um melhor diagnóstico do estado atual do paciente acamado. O tempo de resposta da atualização dos dados via internet também se mostrou satisfatório, pois a atualização ocorre quase que de maneira instantânea à atualização dos sensores. Para melhoria na leitura do sensor de pressão será aumentada a ordem do filtro *Butterworth*, ocasionando uma filtragem mais

efetiva, diminuindo a possibilidade de geração de ruídos.

Conclusão

Este sistema demonstrou confiabilidade no envio, tratamento e exibição das informações oriundas das medições dos sensores no paciente, portanto pode ser aplicado para um acompanhamento remoto por parte do profissional de saúde para verificação do estado clínico do paciente e a probabilidade de desenvolvimento de úlceras de pressão, de acordo com o tempo em que o indivíduo permanece no mesmo decúbito sem alteração de posição.

Agradecimentos

À FAEP (Fundação de Amparo ao Ensino e Pesquisa da Universidade de Mogi das Cruzes) pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] Cooper RA, Fitzgerald SG, Boninger M, Brienza DM, Shapcott N, Cooper R, Flood K. Telerehabilitation: Expanding access to rehabilitation expertise. *Proceedings of the IEEE*. 2001; 89(8): 1174-1193.
- [2] Carvalho MJ. Úlceras por pressão: proposta de prevenção por meio de um colchão de látex natural (*Hevea Brasiliensis*) sensorizado [dissertação] Brasília. Universidade de Brasília. 2014.
- [3] Prakash S, Venkatesh V. Real time monitoring of ECG signal using PIC and web server. *International Journal of Engineering and Technology*. Int J Appl Sci Eng Tech. 2013; 5.
- [4] Liang J, Wu Y. Wireless ECG Monitoring System Based on OMAP. *International Conference on Computational Science and Engineering*. 2009; 1-5.
- [5] Ibaida A, Khalil I. Wavelet-Based ECG Steganography for Protecting Patient Confidential Information in Point-of-Care Systems. 2013; 1-9.
- [6] Dos Santos CLA. Sistema automático de prevenção de úlceras por pressão [dissertação] Iha da Madeira, Portugal. Universidade da Madeira. 2009.
- [7] Hayn D, Falgenhauer M, Morak J, Wipfler K, Willner V, Liebhart W, Schreier G. An eHealth System for Pressure Ulcer Risk Assessment Based on Accelerometer and Pressure Data. *Journal of Sensors*. 2015; 1-9.
- [8] Kvedar J, Coye M J, Everett W. Connected Health: A Review Of Technologies And Strategies To Improve Patient Care With Telemedicine And Telehealth; *Health Affairs*, 33, nº.2 2014;194-199