

Dispositivo Médico IoT para Monitorização da Frequência Respiratória

Patrícia Dias¹, Pedro Guimarães^{1,2} e Inês Menéres¹

¹ Departamento de Física, Instituto Politécnico do Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 432, 4200-072 Porto, Portugal

² CIETI- Centro de Inovação em Engenharia e Tecnologia Industrial, Porto, Portugal
{1170666,psg,icm}@isep.ipp.pt

Resumo. Novas soluções no campo das tecnologias da informação, comunicação e eletrónica têm permitido o desenvolvimento de dispositivos para monitorizar sinais vitais, um processo considerado essencial para o controlo do estado de saúde e deteção precoce de doenças. O presente documento descreve o desenvolvimento de um sistema de medição e monitorização de frequência respiratória, um dos quatro sinais vitais clássicos. Este sistema é constituído por um dispositivo responsável por fazer recolha e processamento de dados, assim como a sua transmissão através de tecnologias de comunicação sem fios. Já a gestão dos dados e disponibilização dos mesmos numa plataforma *web* é da responsabilidade de um servidor *web*, com o apoio de uma base de dados.

Palavras-chave: Termistor, Processamento de Sinal, Internet das Coisas Médicas (IoMT), Assistência Médica Remota.

1 Introdução

Atualmente, o envelhecimento da população é um fenómeno que afeta quase todos os países desenvolvidos do mundo, assistindo-se a um aumento do número e proporção de idosos na população [1].

O aumento da prevalência das doenças crónicas, associado ao envelhecimento demográfico, constitui um grande desafio para a sustentabilidade financeira e fiscal dos sistemas de saúde [2]. Assim sendo, estes têm trabalhado cada vez mais em direção a um futuro no qual o foco se afasta de um sistema de assistência médica - que se baseia em tratar pessoas depois de adoecerem - para um sistema de saúde que apoia a prevenção e a deteção precoce [3].

Soluções tecnológicas que permitem a monitorização de parâmetros clínicos em casa são consideradas uma abordagem promissora para a prevenção e tratamento de doenças crónicas. Com estes sistemas pretende-se envolver os pacientes na monitorização do seu estado fisiológico, de modo a reconhecerem precocemente sinais de deterioração e desenvolverem competências para uma melhor gestão da sua saúde [4].

Nos últimos anos têm sido propostos alguns sistemas de monitorização remota de frequência respiratória com diferentes métodos de recolha e transmissão de dados.

ISBN: 978-989-54758-6-5

Se, por um lado, existem atualmente diversas abordagens relativamente ao método de aquisição de sinais respiratórios [5], por outro, os sistemas atuais apresentam algumas limitações, quer ao nível da transmissão de dados (alcance), quer na forma como disponibilizam as informações recolhidas.

Nos últimos anos assistiu-se ao aparecimento do conceito de Internet das Coisas (IoT) onde qualquer dispositivo tem a capacidade de enviar e receber dados através da sua ligação à rede. Internet das Coisas Médicas (IoMT) é a aplicação deste conceito na área da saúde [6].

A solução que se apresenta tem como objetivo incentivar e facilitar o processo de monitorização da frequência respiratória, um dos quatro sinais vitais clássicos, permitindo que as pessoas participem de forma mais ativa no controlo do seu estado de saúde. Pretende-se assim um dispositivo leve, pequeno, portátil, de baixo custo e sem fio. A comunicação de dados através de WiFi (maior alcance) e o acesso aos dados via página *web* (maior rapidez e menor custo) são outros grandes objetivos.

2 Arquitetura do Sistema

O sistema de monitorização proposto compreende um dispositivo de monitorização sem fios, responsável por adquirir, processar e analisar sinais respiratórios, assim como transmitir as informações para um servidor *web*, através da tecnologia WiFi. Este servidor é responsável pela gestão e disponibilização dos dados recebidos, com o apoio de uma base de dados. As informações transmitidas pelo dispositivo de monitorização encontram-se disponíveis para consulta e análise numa plataforma *web* que pode ser acedida por dispositivos com conexão à rede. A arquitetura do sistema proposto encontra-se representada na Fig. 1.

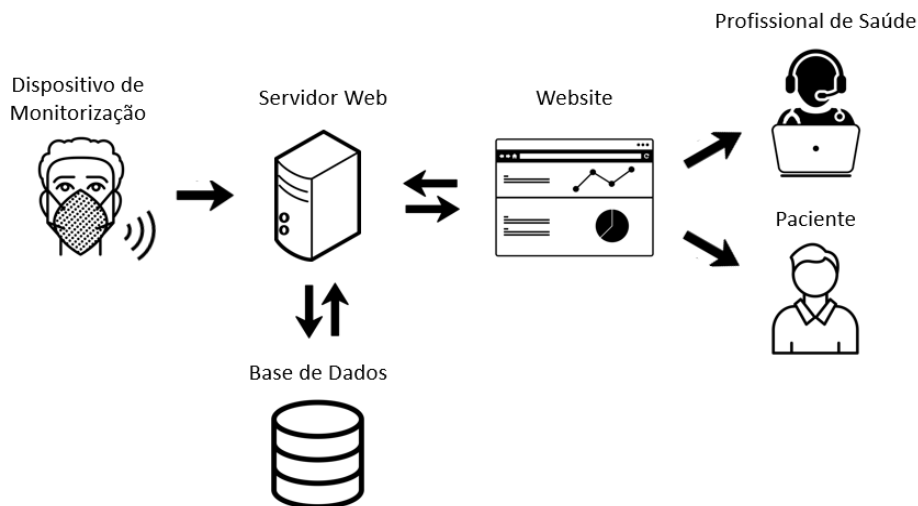


Fig. 1. Arquitetura do sistema de monitorização de frequência respiratória.

3 Dispositivo de Monitorização

A solução implementada para adquirir, processar e transmitir os dados relativos à frequência respiratória do utilizador encontra-se esquematizada na Fig. 2.

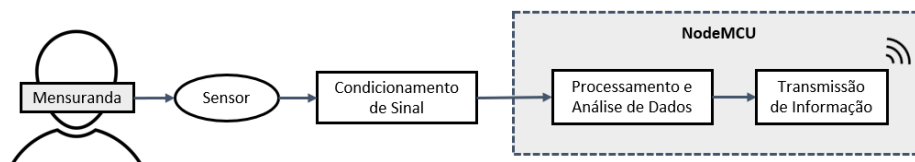


Fig. 2. Diagrama de blocos do dispositivo de monitorização.

O dispositivo de monitorização possui um circuito de aquisição de sinal, que inclui um elemento sensor responsável por captar o sinal respiratório. Este sinal é condicionado e processado para se tornar mais adequado para análise. Por fim, o sinal respiratório recolhido, assim como o valor de frequência respiratória determinado por algoritmos específicos, são transmitidos através da tecnologia WiFi para um sistema de gestão e visualização de dados.

A placa de desenvolvimento NodeMCU, tipicamente utilizada em projetos IoT, foi escolhida como base para esta unidade de processamento e envio de dados por possuir características adequadas ao desenvolvimento deste projeto, nomeadamente a capacidade de comunicar via WiFi.

3.1 Elemento Sensor

O princípio de medição da frequência respiratória implementado neste dispositivo tem por base as alterações da temperatura do ar que ocorrem durante o processo de respiração. O sensor utilizado no dispositivo é um termistor NTC (*negative temperature coefficient*) cuja resistência elétrica diminui com o aumento da temperatura e encontra-se acoplado a uma máscara. O termistor é colocado em série com uma resistência de valor conhecido (e praticamente fixo na faixa de temperaturas a medir) formando um divisor de tensão.

Tendo em conta que a temperatura do ar expirado é superior à do ar inspirado, durante a expiração a resistência do termistor é menor e, consequentemente, a tensão de saída do circuito é maior. Em contrapartida, durante a inspiração a resistência do termistor aumenta e, portanto, a tensão de saída diminui.

3.2 Condicionamento de Sinal

Durante a respiração, a variação da tensão de saída proveniente do divisor de tensão implementado é pouco significativa, correspondendo a um sinal de baixa amplitude. Para amplificar este sinal foi usado um amplificador de instrumentação (INA122). O sinal resultante é convertido para um sinal digital através do conversor analógico-

digital (ADC) do módulo NodeMCU. O esquema elétrico do dispositivo de monitorização encontra-se representado na Fig.3.

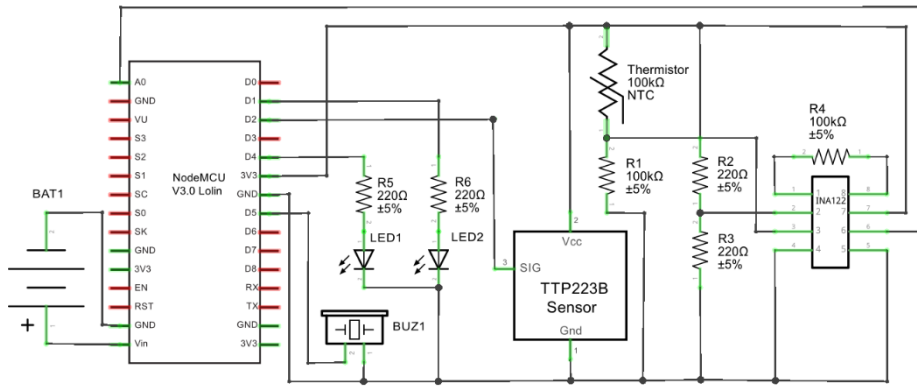


Fig. 3. Esquema elétrico do dispositivo de monitorização.

3.3 Processamento e Análise do Sinal

Tendo em conta que o intervalo de valores de frequência respiratória típico para o ser humano é entre 4 e 60 ciclos respiratórios por minuto [7], foi implementado um filtro passa-banda de segunda ordem do tipo *Butterworth* com frequências de corte inferior e superior de 0,06 Hz e 1 Hz, respetivamente.

Depois de filtrado, o sinal é analisado através de um algoritmo que permite determinar o valor de frequência respiratória. O algoritmo implementado tem por base o método da detecção de picos, sendo que cada pico representa a ocorrência de um ciclo respiratório. A contagem do número de picos é feita numa janela de 30 segundos do sinal, portanto a frequência respiratória (número de ciclos respiratórios que ocorrem durante 1 minuto) é estimada multiplicando por dois o número de picos contabilizados pelo algoritmo.

3.4 Transmissão de Dados

A transmissão de dados (sinal respiratório e valor de frequência respiratória) é realizada através do protocolo IEEE 802.11, popularizado como WiFi. A placa de desenvolvimento NodeMCU inclui capacidade de comunicação através desta tecnologia, visto que tem incorporado o módulo WiFi ESP8266. Este módulo foi configurado para operar em modo *Client*, estabelecendo conexão com um *Access Point* (AP), ao qual se encontra conectado um servidor web que irá receber e gerir os dados enviados pelo dispositivo de monitorização.

O AP tem como principal finalidade interligar todos os dispositivos que estão ligados a si com os restantes elementos da rede WiFi e com a rede à qual se encontra ligado via cabo de rede, tipicamente a internet [8].

4 Sistema de Gestão e Visualização de Dados

Com o intuito de coordenar as atividades de armazenamento das informações adquiridas pelo dispositivo de monitorização e disponibilização dos dados para consulta, foi desenvolvido um sistema de gestão e visualização de dados. Este sistema é constituído por um servidor *web* compatível com o protocolo HTTP, com capacidade para interagir com uma base de dados, e ao qual está associado um *website*.

O modelo de comunicação utilizado neste sistema tem por base uma arquitetura cliente-servidor. O servidor está sempre disponível, à espera da iniciativa do cliente, e o cliente aciona o servidor sempre que precisa de fazer a comunicação.

Para as solicitações feitas ao servidor é utilizado código PHP (*Hypertext Preprocessor*) que, por sua vez, é executado por um interpretador desta linguagem. Assim sendo, quando o servidor recebe um pedido HTTP de um cliente, o interpretador de código PHP é acionado para processar o ficheiro *.php* relativo à solicitação, o qual estabelece ligação com a base de dados, permitindo o armazenamento ou obtenção de informação como resposta às requisições do cliente (ver Fig. 4).

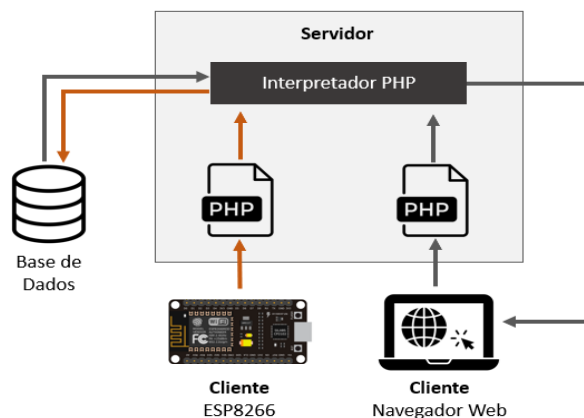


Fig. 4. Fluxo de informação do sistema de gestão e visualização de dados.

4.1 Servidor Web e Base de Dados

Devido à sua versatilidade e compatibilidade com diversas linguagens de programação foi determinado o uso do servidor Apache para disponibilizar o *back-end* do sistema, tendo sido implementado num sistema operativo *Windows*, edição 10 *Home*.

O armazenamento dos dados adquiridos e processados pelo dispositivo de monitorização é realizado através do MySQL, o sistema de bases de dados mais popular do mundo. Esta ferramenta é compatível com SQL (*Structured Query Language*), uma linguagem amplamente utilizada para armazenar informação em bases de dados, assim como aceder aos conteúdos armazenados [9].

4.2 Website

Depois de guardados os dados no servidor, a informação relevante é organizada e mostrada ao utilizador numa plataforma *web* que pode ser acedida através de um navegador (*browser*), com recurso a um dispositivo com capacidade de se ligar a uma rede WiFi.

O HTML (*HyperText Markup Language*) foi a linguagem de marcação utilizada para a construção e estruturação das páginas *web*, e o CSS (*Cascading Style Sheets*) foi a linguagem usada para a definição e apresentação do *layout* de cada página. Como linguagens de programação foi usado o *JavaScript*, para a criação de *layouts* interativos, e o PHP para as solicitações feitas ao servidor.

Para aceder ao conteúdo do *website*, é necessário que o utilizador esteja devidamente autenticado, isto é, que esteja registado na base de dados. Depois de inseridas as credenciais (nome de utilizador e palavra passe) e de estas serem validadas, o utilizador tem acesso à página principal do *website* (ver Fig.5), onde dispõe de quatro blocos principais que pode seleccionar: *Monitorização*, *Últimos Registos*, *Histórico* e *Estatísticas*.



Fig. 5. Página principal do *website*.

O primeiro bloco, *Monitorização*, quando seleccionado fornece um conjunto de instruções relativas à utilização do dispositivo. Depois de seguir estas instruções de utilização, e terminada a aquisição de dados, o utilizador tem acesso ao valor da frequência respiratória e respetivo padrão respiratório (ver Fig. 6).

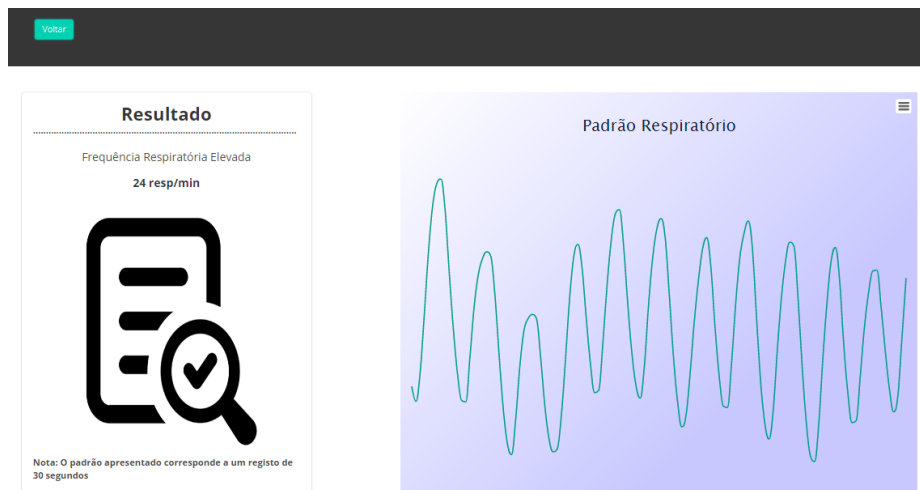


Fig. 6. Página web de apresentação do resultado da monitorização.

O segundo bloco da página principal, *Últimos Registos*, permite a visualização de um gráfico de linhas onde constam os valores de frequência respiratória das últimas 7 medições em função da data de registo. Esta informação pode ser pertinente para a deteção de alguns problemas que se manifestam a curto prazo, como é o caso da insuficiência respiratória aguda ou da paragem cardiorrespiratória.

Ao seleccionar-se o terceiro bloco, *Histórico*, é apresentada uma tabela onde constam os registos de todas as medições realizadas pelo dispositivo de monitorização, existindo a possibilidade de consulta por data ou intervalo de datas.

No último bloco, *Estatísticas*, é apresentada um gráfico de barras que resulta da análise estatística dos valores médios mensais de frequência respiratória (ver Fig. 7).

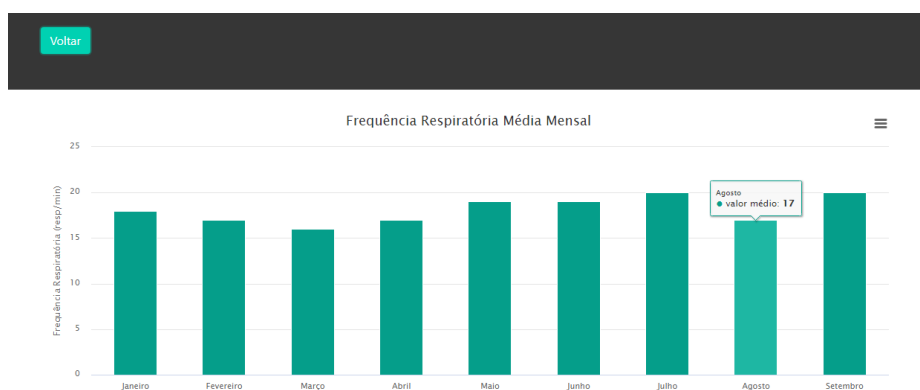


Fig. 7. Página web relativa ao bloco *Estatísticas*.

Estes valores poderão ser importantes na deteção de alguns problemas que se manifestam a médio/longo prazo, como é o caso da insuficiência respiratória crónica.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

O sistema desenvolvido constitui uma abordagem de baixo custo e que se espera que possa contribuir para que as pessoas participem de forma mais ativa na monitorização do seu estado de saúde, quer como forma de prevenção de doenças, quer para acompanhamento de alguma patologia clínica.

A comunicação sem fio IEEE 802.11 (WiFi) confere ao dispositivo portabilidade e uma maior mobilidade (alcance do sinal). Os dados recolhidos podem ser facilmente consultados através de uma página *web*, utilizando um *desktop* ou dispositivos móveis como *smartphones* e *tablets*. O facto de não necessitar de instalação e apresentar um custo de desenvolvimento baixo são algumas das vantagens deste projeto.

A utilização deste sistema em contexto de teleconsulta pode ser pertinente dado que é possível partilhar com o profissional de saúde as informações disponíveis no website, permitindo que este analise a evolução do estado de saúde do paciente ao longo do tempo e realize o respetivo diagnóstico.

No que diz respeito a trabalhos futuros, deverá ser incluída a medição de outros biossinais relevantes na avaliação do estado de saúde assim como o desenvolvimento de um protótipo funcional, apoiado na impressão 3D. Considera-se ainda pertinente implementar técnicas de *machine learning* de modo que o sistema esteja preparado para acionar alertas para profissionais de saúde assim que forem identificados sinais de deterioração fisiológica.

Referências

1. Eurostat: Ageing Europe - looking at the lives of older people in the EU. In: Strandell, H., Wolf, P. (eds.), (2019).
2. OECD/EHSP: Portugal - Country Health Profile 2019. In: State of Health in the EU. OECD Publishing, (2019).
3. Allen, S.: 2020 Global Health Care Outlook. Deloitte, (2020).
4. Hernández, D. N., Barroso, A. T., Tosina, J. R., Roa, L. M., Rostan, G. B., Ramos, P. C., Martín, E. M., Ruiz, F. O.: Smart Vest for Respiratory Rate Monitoring of COPD Patients Based on Non-Contact Capacitive Sensing. *Sensors (Switzerland)* 18(7), 1–24 (2018).
5. Charlton, P. H., Villarroel, M., Salguero, F.: Waveform Analysis to Estimate Respiratory Rate. In: Secondary Analysis of Electronic Health Records. Springer International Publishing, (2016).
6. Massaroni, C., Nicolò, A., Lo Presti, D., Sacchetti, M., Silvestri, S., Schena, E.: Contact-Based Methods for Measuring Respiratory Rate. *Sensors* 19(4), (2019).
7. Joyia, G. J., Liaqat, R. M., Farooq, A., Rehman, S.: Internet of Medical Things (IOMT) - Applications, Benefits and Future Challenges in Healthcare Domain. *Journal of Communications* 12(4), 240–247 (2017).
8. Machado, P. F. L.: Ferramenta para Processamento de Dados da Utilização de Redes WiFi. Universidade do Minho, (2014).
9. Welling, L., Thomson, L.: PHP and MySQL Web Development. 5th edn. Pearson Education, (2017).