

Um Sistema para Monitoramento Remoto de Sinais de Eletrocardiograma em Ambientes Hospitalares e de Home Care

Matheus Tonelli
CEFET/RJ – *Campus* Petrópolis
matheus.tonelli@aluno.cefet-rj.br

André Monteiro
CEFET/RJ – *Campus* Petrópolis
andre.monteiro@cefet-rj.br

Felipe Henriques
CEFET/RJ – *Campus* Petrópolis
felipe.henriques@cefet-rj.br

ABSTRACT

Annually, about 17.9 million people in the world die from some form of cardiovascular disease, and most of these deaths could be prevented with a simple ECG (electrocardiogram) exam, followed by an adequate medical treatment. The ECG is an exam that collects the heart's electrical impulses. These data can be visualized in graphs that allow the identification of possible alterations or behaviors out of the known parameters, that may cause harm to the patients. The proposed systems enables medical team to collect ECG signals and detect some anomaly in patients allocated in hospitals and home care environments. The data collected are transmitted through a Wi-Fi network to a server at the internet cloud, where they are properly stored. This way, the medical team can visualize the necessary parameters in real-time using an App designed to mobile devices. Real experiments were performed, in a case study, showing the feasibility of the proposed system.

KEYWORDS

HOME CARE, SENSORS NETWORK, CLOUD COMPUTING, MOBILE COMPUTING

1 INTRODUÇÃO

Diante dos avanços tecnológicos e científicos atuais, diversas áreas do conhecimento têm utilizado recursos computacionais desenvolvidos ao longo dos anos. A área da saúde não é diferente, onde é possível identificar a utilização da computação para facilitar e apoiar profissionais e procedimentos desse meio [1]. No contexto nacional, a Telemedicina apresenta diversas abordagens e aplicações com o intuito de transferir dados e informações médicas em locais remotos e de acesso restrito (como ambientes hospitalares, residências, etc.), para que profissionais de saúde possam remotamente acompanhar, analisar e diagnosticar possíveis sintomas de seus pacientes, conforme apontado em [2].

Dentre os muitos exames realizados em ambientes hospitalares, o Eletrocardiograma (ECG) se mostra um dos mais rotineiramente utilizados, já que se destina a avaliar atividade elétrica do coração. Desta forma, por meio da análise de um ECG é possível diagnosticar e prevenir doenças cardíacas, que são responsáveis por 30% dos óbitos do Brasil, com aproximadamente 400 mil pessoas falecendo anualmente por problemas cardiovasculares no país e 17,9 milhões no mundo, conforme descrito em [3]. Em geral, os dados de um Eletrocardiograma são inspecionados de maneira visual através da equipe médica em ambientes hospitalares. Além disso, não há em escala significativa nos hospitais do SUS um arcabouço automatizado de monitoramento e alerta em caso de intercorrências detectadas no ECG. No cenário de Home Care, baseado no paradigma de monitoração médica remota na residência do paciente, a situação é ainda mais delicada. O alto custo de aparelhos de ECG (que podem variar

entre R\$3.000 e R\$10.000) inviabilizam a opção de Home Care para grande parte da população brasileira. Como fator agravante, grande parte da população que necessita de acompanhamento periódico de ECG são pessoas idosas ou portadoras de doenças crônicas, que já estão com boa parte do orçamento doméstico comprometido com medicações ou terapias destinadas a prover uma melhor qualidade de vida durante o tratamento, conforme analisado em [4].

A literatura apresenta diversos trabalhos relacionados ao monitoramento remoto de ECG, que objetivam uma melhor visualização e interpretação dos dados pela equipe médica. Em geral, os trabalhos descritos na literatura possuem o escopo limitado a visualização dos dados de ECG em tempo real, com testes realizados em ambientes simulados em virtude dos rígidos protocolos médicos para atividades em ambientes hospitalares. O trabalho descrito em [5] propõe a utilização de dispositivos vestíveis para coleta dos dados dos pacientes, analisando a viabilidade dos mesmos para ambientes hospitalares e Home Care. Entretanto, a visualização dos dados ocorre em equipamentos médicos, e não em dispositivos móveis ou outras interfaces mais amigáveis para análise dos dados capazes de efetuar algum tipo de filtragem e interpretação dos dados coletados. Já o trabalho apresentado em [6] faz uso de dispositivos móveis para visualização dos dados, mas não aborda a possibilidade de armazenamento e posterior análise de dados baseada em históricos dos dados obtidos, focando apenas na monitoração em tempo real dos dados obtidos no ECG. Em [7] os dispositivos vestíveis também são utilizados para monitoração, e é apresentada uma interface de visualização baseada em dispositivos móveis com possibilidade de armazenamento de dados coletados ao longo do tempo. Entretanto, o referido trabalho utiliza apenas simulações para validar o sistema proposto, não realizando testes reais com pacientes em ambientes hospitalares.

Diante deste cenário, este trabalho propõe a monitoração e análise remota dos dados de um ECG pelo profissional de saúde. Para este fim, foi desenvolvido um sistema onde os dados coletados pelo ECG são transmitidos em tempo real para um servidor na nuvem computacional, viabilizando a visualização e análise das informações pelos profissionais da saúde por meio de um dispositivo móvel (*smartphone* ou *tablet*). Desta forma, a solução apresentada neste trabalho se diferencia das demais presentes na literatura por abordar um sistema de monitoração de ponta a ponta, iniciando com a coleta dos dados do ECG, passando pelo armazenamento em uma plataforma de computação em nuvem, e finalizando com a visualização e análise dos dados em dispositivos móveis. Além disso, o sistema foi testado e avaliado com pacientes em um ambiente hospitalar real com supervisão de uma equipe médica, por meio de um protótipo funcional instalado no HUPE (Hospital Universitário Pedro Ernesto), vinculado à faculdade de Medicina da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Este trabalho

está estruturado conforme descrito a seguir: a Seção 2 descreve e discute a metodologia usada na implementação do sistema de monitoramento desenvolvido, além de apresentar os testes iniciais que avaliam a viabilidade do mesmo. Por fim, as conclusões e os trabalhos futuros desta pesquisa são descritos na Seção 3.

2 SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução apresentada neste trabalho baseia-se no paradigma de IoT (Internet of Things), e sua implementação utiliza um sensor de ECG para a leitura dos dados biométricos do paciente, um microcontrolador ESP32 para realizar o processamento e transmissão dos dados coletados, e um servidor de dados da plataforma de computação em nuvem Ubidots. Esta plataforma de computação em nuvem foi escolhida em virtude da sua simplicidade de configuração. Outro fator relevante para escolha da plataforma Ubidots é a robusta camada de segurança no armazenamento de dados, tendo em vista que os mesmos ficam armazenados no *Bucket S3* da nuvem AWS, com tolerância a falhas. Como os dados a serem armazenados são informações biométricas, faz-se necessário utilizar um repositório de dados seguro, em virtude dos requisitos associados ao sigilo médico dos pacientes.

A transmissão dos dados coletados pelo ECG é realizada via Wi-Fi, sendo utilizado o protocolo MQTT, que se caracteriza por ser um protocolo de transmissão assíncrona de mensagens com garantia de entrega. Sua principal diferença é o desacoplamento do emissor e o receptor da mensagem, tanto no espaço, quanto no tempo. Sendo assim, ele é escalável para ambientes com rede não tão confiáveis, conforme analisado em [8]. Além disso, o processo de garantia de entrega de mensagens se mostra fundamental para o cenário de monitoração remota de dados biométricos, já que uma falha no envio de algum dado coletado pode comprometer o processo de monitoração e análise da saúde do paciente. Para estabelecer esta comunicação, ele se baseia no modelo de publicação e assinatura (*publish/subscribe*). Como nesta fase inicial do projeto o protótipo desenvolvido ainda não contempla o App para visualização e análise dos dados em tempo real por meio de um dispositivo móvel, optou-se por apresentar diretamente no Ubidots os dados coletados pelo ECG nos experimentos realizados.

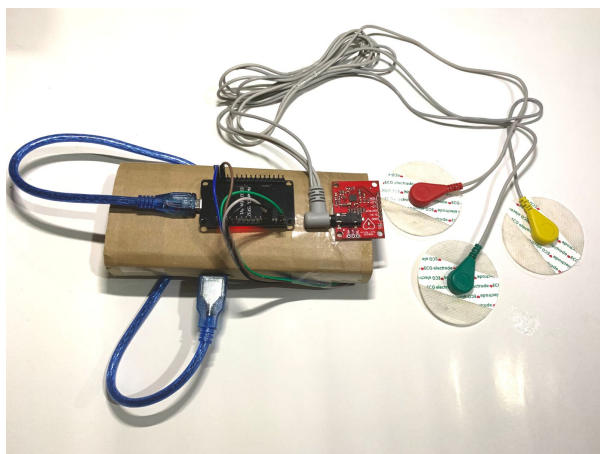


Figura 1: Foto do protótipo utilizado nos testes

Os testes iniciais da solução proposta neste presente trabalho foram realizados por meio do protótipo funcional apresentado na Fig. 1. Para formulação deste protótipo foi realizado a montagem dos cabos nas respectivas pinagens e conexões do microcontrolador ESP32 com o módulo ECG. A alimentação deste protótipo se deu por meio de um *powerbank* convencional, usado para carregamento de *smartphones*, tendo em sua saída uma porta USB de 5 V universal.

A seguir são apresentados os gráficos gerados no Ubidots decorrentes da monitoração de um paciente de 26 anos, do sexo masculino, peso de 78Kg, altura de 1,68m, que pratica atividades físicas regularmente e não possui cardiopatias. Esse paciente foi indicado pela equipe médica do HUPE para minimizar a complexidade dos dados coletados nestes testes iniciais do protótipo, já que pacientes idosos ou com presenças de cardiopatias tenderiam a gerar dados assimétricos e com um ruído maior.

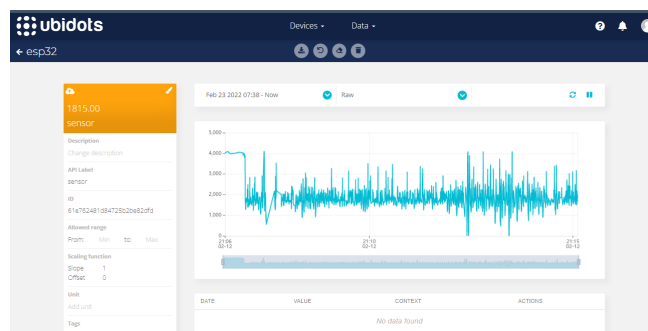


Figura 2: Visualização dos dados em tempo real

Na Fig.2 pode-se observar em tempo real os dados recebidos pela plataforma de computação em nuvem. Se necessário, pode-se realizar o *download* desses dados em formato CSV contendo duas colunas representadas pelo valor coletado pelo sensor versus intervalo de tempo. Com base nesse arquivo é possível criar um banco de dados que guarde todo o histórico dos dados coletados do paciente pelo ECG, viabilizando assim uma análise mais detalhada no futuro. Além da possibilidade de baixar os dados para uma plataforma computacional local, o próprio Ubidots disponibiliza uma API (Application Program Interface) para criação do banco de dados na nuvem baseado nas coletas realizadas pelo ECG e enviados pelo microcontrolador. Cabe ressaltar que o intervalo de coleta dos valores do sensor ocorre periodicamente em aproximadamente 100 ms a 200 ms; ou seja, a cada 1 s há, aproximadamente de 5 a 10 amostras coletadas. Assim, para cada minuto de monitoração pode-se obter até 600 medições, sendo possível ajustar este intervalo de medição conforme as especificações da equipe médica.

Um dos gargalo observados pelos projetistas de sistemas de monitoramento de sinais biométricos são as medidas de sinais elétricos com amplitudes muito pequenas, e a presença de ruídos. O potencial de tensão criado na contração do coração propaga correntes elétricas do coração para o corpo e isto cria diferentes potenciais em diferentes pontos do corpo, os quais podem ser captados pelos eletrodos na superfície da pele. Estes potenciais elétricos são em AC (Corrente Alternada) com banda de 0,05 Hz a 100 Hz, algumas vezes até 1 kHz. A tensão oscila em torno de 1 mV pico-a-pico

na presença de grandes ruídos externos de alta frequência, que se mostra um fenômeno comum quando a medição é realizada em ambientes hospitalares ou de Home Care.

A Fig. 3 apresenta um recorte específico do gráfico gerado na plataforma para o primeiro experimento realizado junto ao paciente descrito anteriormente. É possível observar o aparecimento de uma interferência no sinal, decorrente do uso de modelos mais simples de sensor de ECG do protótipo confeccionado, conforme observação também registrada em [9]. Porém, mesmo com a interferência no sinal, é possível identificar as etapas do ciclo cardíaco, principalmente do segmento QRS, que é a representação gráfica da ativação elétrica dos ventrículos do coração. Além disso, foi constatado nesta primeira série de experimentos que ao utilizarmos o microcontrolador ligado a um computador ligado diretamente na rede elétrica, gerava-se mais ruído nos dados coletados.

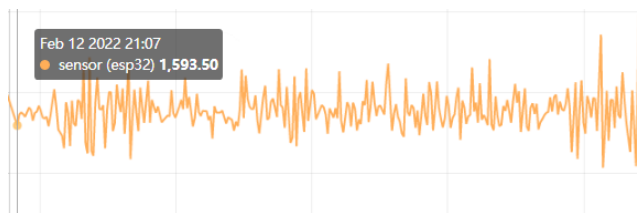


Figura 3: Recorte de uma janela de monitoração

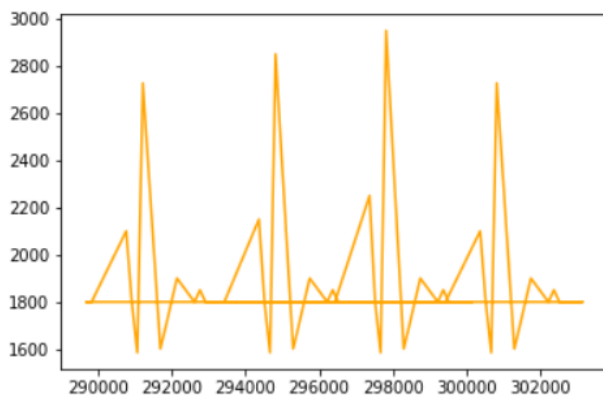


Figura 4: Resultados obtidos após ajustes para redução de ruídos e interferências

Para minimizar os ruídos verificados na primeira série de testes, utilizou-se um *power bank* para alimentar o microcontrolador. Este ajuste já se encontra presente de forma permanente no protótipo mostrado anteriormente na Fig. 1. Outro fator que gerou interferência na série preliminar de experimentos foi a movimentação dos fios conectores (*jumper*s) do microcontrolador. Neste caso, observou-se que caso os conectores estejam com alguma folga em suas conexões do microcontrolador, diversos *outliers* são verificados nos dados coletados pelo ECG. Assim, nos testes seguintes a estrutura composta pelo microcontrolador e conectores foi fixada de maneira mais adequada e robusta. Realizados esses ajustes para minimizar os ruídos e interferências mencionados, foi executada uma segunda

série de experimentos para avaliar novamente o processo de coleta de dados. Além disso, o paciente foi orientado a evitar movimentos bruscos durante o período de monitoramento com o ECG. Com isso, foi possível obter um resultado com menos ruídos e interferências, decorrendo em valores medidos mais fidedignos, conforme observado no gráfico da Fig. 4, onde o eixo *x* representa uma janela de tempo de 200 milissegundos a cada valor registrado no eixo, e o eixo *y* um intervalo de 200 microvolts entre cada valor descrito no mesmo. Com base nesses intervalos em cada eixo, é possível observar que os segmentos QRS apresentados possuem uma amplitude ligeiramente superior a 1 milivolt e duração inferior a 120 milissegundos, representando um cenário cardiovascular dentro dos padrões de normalidade, ratificando o perfil saudável do paciente indicado pela equipe médica do HUPE.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho em andamento apresenta uma solução monitoração remota de exames de eletrocardiograma em ambientes hospitalares e de Home Care. É apresentada uma solução de ponta a ponta, iniciando no processo de coleta de dados do paciente monitorado, e finalizando na visualização dos dados em tempo real por meio da equipe médica responsável. Foram realizados testes reais em um paciente alvo presente no Hospital Universitário Pedro Ernesto. Os testes iniciais indicaram ajustes necessários no protótipo desenvolvido, e após esses ajustes os resultados ratificaram a viabilidade do sistema proposto. Como trabalhos futuros, será implementado o App destinado à visualização dos dados em dispositivos móveis, e analisadas técnicas de aprendizado de máquina para identificar padrões e tendências nos dados coletados dos pacientes, com o objetivo de suportar a tomada de decisões da equipe médica. Além disso, serão exploradas técnicas de filtragem de ruídos e algoritmos para incrementar a qualidades dos sinais medidos pelo ECG, de forma a dar mais confiabilidade aos valores medidos dos pacientes.

REFERÊNCIAS

- [1] Denise Casatti et al. Computação a serviço da medicina: desafio de construir um sistema de saúde mais eficiente une pesquisadores. 2016.
- [2] Kálita Oliveira Lisboa, Ana Clara Hajjar, Isabela Perin Sarmiento, Rebecca Perin Sarmiento, and Sérgio Henrique Resende Gonçalves. A história da telemedicina no brasil: desafios e vantagens. *Saúde e Sociedade*, 32:e210170pt, 2023.
- [3] Bayram Şahin and Gülnur İlğün. Risk factors of deaths related to cardiovascular diseases in world health organization (who) member countries. *Health & Social Care in the Community*, 30(1):73–80, 2022.
- [4] Heloyse Kelly de Sousa Macedo, Talita Araujo de Souza, Hélyda de Souza Bezerra, Fábila Cheyenne Gomes de Moraes Fernandes, Isabelle Ribeiro Barbosa, and José Adailton da Silva. Internações por diabetes mellitus em idosos no brasil de 2001 a 2020: tendência temporal e padrões espaciais. *Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia*, 24(3):e210107, 2021.
- [5] Abreha Bayrau Nigusse, Desalegn Alemu Mengistie, Benny Malengier, Granch Berhe Tsegghai, and Lieva Van Langenhove. Wearable smart textiles for long-term electrocardiography monitoring—a review. *Sensors*, 21(12):4174, 2021.
- [6] Andrew L Walker and Joseph B Muhlestein. Smartphone electrocardiogram monitoring: current perspectives. *Advanced Health Care Technologies*, pages 15–24, 2018.
- [7] Jeroen P Kooman, Fokko Pieter Wieringa, Maggie Han, Sheetal Chaudhuri, Frank M van der Sande, Len A Usvyat, and Peter Kotanko. Wearable health devices and personal area networks: can they improve outcomes in haemodialysis patients? *Nephrology Dialysis Transplantation*, 35(Supplement_2):ii43–ii50, 2020.
- [8] Albert Álvarez Carulla. Comunicación de un módulo esp32 con ubidots mediante mqtt. 2021.
- [9] Pratik Kanani and Mamta Padole. Recognizing real time ecg anomalies using arduino, ad8232 and java. In *International Conference on Advances in Computing and Data Sciences*, pages 54–64. Springer, 2018.