



TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE SINAIS EM SISTEMAS DE ECG DE BAIXO CUSTO: UMA REVISÃO FOCADA EM PRÉ-PROCESSAMENTO E EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS

Háida Lorencini¹

¹ Universidade Federal de Minas Gerais/Escola de engenharia/Curso de Engenharia de Controle e Automação. haidalorencinih@gmail.com

Resumo: Este artigo revisa técnicas de processamento de sinais em sistemas de ECG de baixo custo, com ênfase em pré-processamento e extração de características. São abordadas estratégias como filtragem digital e transformadas matemáticas, com foco na aplicação em dispositivos embarcados para fins clínicos e educacionais.

Palavras-chave: ECG, processamento de sinais, sistemas embarcados, filtragem digital, extração de características.

1. Introdução:

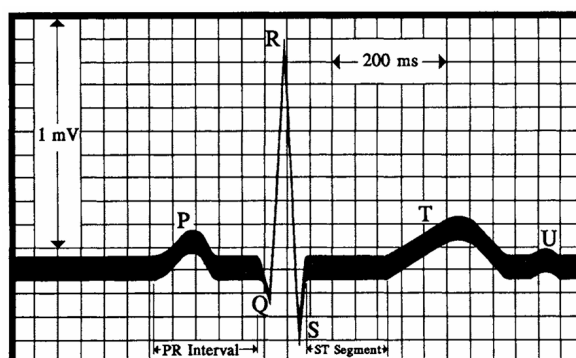
As doenças cardiovasculares são a principal causa de morte em muitos países, incluindo o Brasil, onde cerca de 400 mil pessoas morreram por causas cardíacas em 2022, um número comparável às mortes por COVID-19 em 2021 (FLORESTI, 2024). Nesse contexto, o eletrocardiograma (ECG) é um exame fundamental para o diagnóstico precoce, permitindo a detecção de arritmias e anomalias cardíacas de forma não invasiva (BRONZINO; Joseph, 2000). Com o avanço da eletrônica embarcada, surgiram sistemas de ECG de baixo custo, aplicados em ensino, telemedicina e pesquisa de campo. No entanto, esses sistemas enfrentam desafios técnicos relacionados à aquisição e ao processamento do sinal, impactados por interferências e limitações de hardware. Este artigo revisa as principais técnicas de

processamento de sinais de ECG em plataformas embarcadas, abrangendo desde o pré-processamento até a extração de características, com o objetivo de fornecer uma base teórica para o desenvolvimento de soluções acessíveis e eficientes.

2. Conceitos Preliminares de ECG

O eletrocardiograma (ECG) é uma técnica de monitoramento que registra a atividade elétrica do coração, gerando um traçado composto por ondas que representam eventos específicos do ciclo cardíaco: onda P (despolarização dos átrios), complexo QRS (despolarização dos ventrículos), onda T (repolarização ventricular) e, ocasionalmente, onda U (origem incerta) (BRONZINO; Joseph, 2000), como ilustrado na Figura 1. No entanto, a captação de sinais de alta qualidade enfrenta desafios, especialmente em UTIs e dispositivos vestíveis, onde interferências e ruídos podem comprometer o sinal (ALIMBAYEV, 2020; JEON; Taegyun, 2014). Para mitigar esses problemas, utilizam-se filtros analógicos diretamente nos sensores, enquanto os filtros digitais são implementados nas etapas de pré-processamento e extração de características, garantindo sinais adequados para análises clínicas ou computacionais (TEJEDOR; Javier, 2019).

Figura 1 – Sinal de ECG Padrão





Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2025.1 - Liberdade e Cidadania

Fonte: (BRONZINO; Joseph, 2000)

4. Pré-processamento do Sinal

O pré-processamento é uma etapa crucial no tratamento de sinais de ECG, visando aprimorar a precisão das análises e diagnósticos ao melhorar a qualidade do sinal bruto por meio da eliminação de ruídos e correção de distorções, como a deriva da linha de base e interferências da rede elétrica. As principais técnicas incluem filtros passa-baixa e passa-banda, que removem ruídos em faixas específicas de frequência, frequentemente combinados com métodos avançados, como transformadas matemáticas e filtros adaptativos. Essas estratégias de pré-processamento são geralmente classificadas em três categorias: baseadas na Transformada Wavelet, na Transformada Curvelet e nos filtros digitais adaptativos (SERHANI; Mohamed Adel, 2020).

Os filtros adaptativos, em particular, têm se mostrado especialmente eficazes em sinais de ECG, por sua capacidade de ajustar dinamicamente sua resposta em função das características do sinal e do ruído. Diferentemente dos filtros fixos, que exigem conhecimento prévio sobre o comportamento do ruído, os filtros adaptativos operam de forma responsiva, o que é particularmente vantajoso em sinais biológicos não estacionários como o ECG (MALGHAN, 2020).

Entre as abordagens baseadas em transformadas, a Transformada Discreta de Wavelet (DWT) é amplamente adotada, por possibilitar uma análise simultânea no domínio do tempo e da frequência. Isso a torna ideal para lidar com as variações locais e dinâmicas dos sinais de ECG, superando as limitações da Transformada de Fourier tradicional, que não fornece boa resolução temporal (MALGHAN, 2020).



Além dessas técnicas, os filtros de notch são amplamente utilizados para eliminar interferências em frequência fixa, como aquelas causadas pela rede elétrica (50 ou 60 Hz), que podem afetar significativamente parâmetros críticos do ECG, como a amplitude e a duração das ondas, comprometendo o diagnóstico (TEJEDOR; Javier, 2019).

5. Extração de Características

A extração de características é uma etapa fundamental no processamento de sinais de ECG, pois permite isolar informações relevantes do sinal pré-processado, facilitando a identificação de padrões fisiológicos associados a doenças cardíacas. Nessa etapa, são extraídos parâmetros como área sob a curva, amplitude dos picos, tempo entre picos e vales, e frequência dos batimentos, refletindo diretamente a atividade elétrica do coração. No entanto, devido à natureza dinâmica e não estacionária do ECG, a escolha das características adequadas é desafiadora. Para lidar com essa complexidade, técnicas como a Transformada Discreta de Wavelet (DWT) e o método de Pan-Tompkins são amplamente adotadas (SERHANI; Mohamed Adel, 2020).

A DWT, além de auxiliar na filtragem, é amplamente utilizada na extração de características devido à sua capacidade de representar o sinal simultaneamente nos domínios do tempo e da frequência. Os coeficientes gerados por essa técnica — como aproximações e detalhes em diferentes escalas — são úteis para identificar mudanças sutis no comportamento do sinal ao longo do tempo (KARPAGACHELVI, 2010).

O algoritmo de Pan-Tompkins, por sua vez, é reconhecido por sua robustez e



eficiência na detecção de complexos QRS em tempo real. Ele combina etapas como filtragem, derivação, quadratura, integração por janela móvel e limiarização adaptativa. Essa estrutura permite identificar picos R com alta precisão, mesmo diante de ruídos e variações morfológicas, tornando-o amplamente empregado em sistemas embarcados de monitoramento (FARIHA, 2020).

5. Conclusão

Este artigo revisou as principais técnicas de processamento de sinais para sistemas de ECG de baixo custo, confirmando que métodos como filtragem digital, transformadas wavelet e algoritmos adaptativos são eficazes no pré-processamento e extração de características. No entanto, como demonstrado, embora esses métodos sejam eficazes, eles apresentam limitações que devem ser consideradas na escolha do método. A seleção da abordagem ideal depende do tipo e do nível de ruído presente no sinal de ECG. Em casos extremos, onde o ruído é severo, pode ser impossível eliminá-lo completamente a partir de uma única gravação (NAYAK; Seema, 2012). Esses achados reforçam a necessidade de adaptar as técnicas às condições específicas de aquisição, alinhando-se às hipóteses iniciais sobre os desafios do processamento de sinais biológicos.

Referências

ALIMBAYEV, Chingiz et al. **Development of measuring system for determining life-threatening cardiac arrhythmias in a patient's free activity**. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, v. 1, n. 9, p. 103, 2020.

BRONZINO, Joseph D. **Biomedical engineering handbook 2**. Springer Science & Business Media, 2000.



Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2025.1 - Liberdade e Cidadania

FARIHA, M. A. Z. et al. **Analysis of Pan-Tompkins algorithm performance with noisy ECG signals**. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020. p. 012022.

FLORESTI, F. **Cerca de 400 mil pessoas morreram em 2022 no Brasil por problemas cardiovasculares**. Revista Pesquisa FAPESP, fev. 2024.

JEON, Taegyun et al. **Implementation of a portable device for real-time ECG signal analysis**. Biomedical engineering online, v. 13, p. 1-13, 2014.

KARPAGACHELVI, S.; ARTHANARI, Muthusamy; SIVAKUMAR, M. **ECG feature extraction techniques-a survey approach**. arXiv preprint arXiv:1005.0957, 2010.

MALGHAN, Pavan G.; HOTA, Malaya Kumar. **A review on ECG filtering techniques for rhythm analysis**. Research on Biomedical Engineering, v. 36, p. 171-186, 2020.

NAYAK, Seema et al. **Filtering techniques for ECG signal processing**. International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences, v. 2, n. 2, p. 671-679, 2012.

SERHANI, Mohamed Adel et al. **ECG monitoring systems: Review, architecture, processes, and key challenges**. v. 20, n. 6, p. 1796, 2020.

TEJEDOR, Javier et al. **Multiple physiological signals fusion techniques for improving heartbeat detection: A review**. Sensors, v. 19, n. 21, p. 4708, 2019.



Grupo de Pesquisa Texto Livre

Belo Horizonte

v.1

n.19

2025.1

e-ISSN: 2317-0220

Realização:

Apoio:

Produção:





Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2025.1 - Liberdade e Cidadania

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Atribuição -Compartilha Igual (CC BY-SA- 4.0), que permite uso, distribuição e reprodução com a citação dos autores e da fonte original e sob a mesma licença.

Realização:



Apoio:



Produção:

