



# SISTEMA DE REGISTRO DE INTERVALOS R-R PARA ESTUDOS DE HRV DE MÉDIA DURAÇÃO

Palavras-Chave: ONDA R, DETECÇÃO, HRV

Autores:

FELIX GEDRAT DINKLAGE, FEEC - UNICAMP

Prof. Dr. ANTONIO AUGUSTO FASOLO QUEVEDO, FEEC - UNICAMP

## INTRODUÇÃO:

A medição da frequência cardíaca é consagrada como um dos parâmetros fundamentais a serem monitorados em pacientes. Ela também é a base para estudos de variabilidade de frequência cardíaca (em inglês, *heart rate variability*, HRV). Uma das maneiras de medir-se esse parâmetro de grande importância é com base no eletrocardiograma (ECG).

O ECG é uma representação gráfica da atividade elétrica no coração, e um de seus fenômenos característicos é a onda R (como visto na Figura 1), localizada dentro do complexo QRS, a qual ocorre uma vez por batimento em condições normais. Assim, detectando-se com exatidão a ocorrência do pico R, é possível calcular adequadamente a frequência cardíaca.

A detecção da onda R é feita em diversos contextos, a depender da aplicação. O presente trabalho busca explorar o seu uso em estudos de HRV de média duração (6 a 8 horas) com detecção em tempo real a partir de sistema portátil. Essa situação produz sinais de ECG com níveis elevados de ruído e artefatos uma vez que o sujeito não estará sempre em repouso, mas realizará atividades do seu dia a dia. Ademais, a detecção será realizada em sistema embarcado, cuja portabilidade é uma característica interessante dada a popularização da telemedicina e da prática médica em locais vulneráveis com baixa infraestrutura.

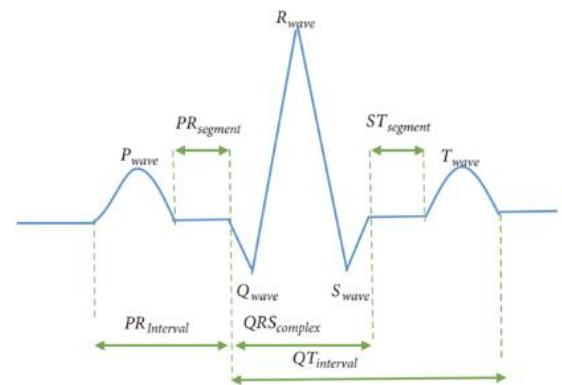


Figura 1: sinal de ECG (teórico); destaca-se o complexo QRS ("QRS<sub>complex</sub>") e a onda R ("R<sub>wave</sub>") (RODRIGUEZ; MEDRANO; PLAZA, 2018)

Dessa forma, o presente trabalho busca, em primeiro lugar, determinar um algoritmo de implementação viável em um sistema embarcado de registro de intervalos R-R para então, no futuro, efetivamente implementar o sistema e testá-lo em estudos de HRV.

## **METODOLOGIA:**

Inicialmente, dedicou-se tempo a entender todas as etapas de um algoritmo de detecção de ondas R, compreendendo quais operações matemáticas o mesmo realiza e o porquê de empregá-las tendo em vista a estrutura básica do ECG, bem como a fonte dos ruídos que podem prejudicar a detecção.

Para tal estudo, destaca-se a compilação do funcionamento de vários algoritmos populares de detecção presente no trabalho de Porr e Howell (PORR; HOWELL, 2019). O primeiro algoritmo que historicamente teve relevância para detecção de picos R em aplicação microcontrolada foi criado por Pan e Tompkins na década de 80 (PAN; TOMPKINS, 1985). Alguns elementos do método empregado por esses autores para detectar ondas R foram amplamente difundidos e são populares até os dias atuais, tais como a filtragem passa-banda em baixas frequências, diferenciação e elevação ao quadrado do sinal. Dentre outros recursos, destaca-se ainda os limiares (*thresholds*) adaptativos implementados no algoritmo de Christov (CHRISTOV, 2004).

Com base nesse conhecimento e com ajuda do trabalho de códigos já prontos, vários algoritmos puderam ser implementados e simulados de maneira *offline*. Antes disso, porém, fez-se necessário a escolha da linguagem de programação para tal simulação e com base em quais sinais ela seria realizada.

Para a linguagem de programação na fase de simulação, escolheu-se Python, devido à sua facilidade de importação de arquivos a partir de uma base de dados e bibliotecas para lidar com análise de dados. Nesse projeto, foi possível analisar o desempenho de oito algoritmos diferentes, além de algumas variações. Para tal, deve-se muito ao trabalho de Porr e Howell (PORR et al., 2023), que é uma implementação na linguagem Python dos algoritmos aqui utilizados, pois permitiu analisar o desempenho de muitos detectores de maneira ágil.

O procedimento para simular um algoritmo de detecção é utilizar bases de dados, as quais contêm sinais de ECG amostrados advindo de sujeitos diferentes, além de arquivos gabaritos (chamados *annotations*) que contêm os instantes da amostragem correspondentes a picos R. Considerando a aplicação do sistema de registro a ser construído, escolheu-se a base de dados GUDB (*Glasgow University Database*) (HOWELL; PORR, 2018). Essa base permite ao usuário simular os algoritmos em situações realistas de operação, já que contêm gravações de sujeitos realizando atividades como corrida, caminhada, exercícios matemáticos, entre outras, contendo assim artefatos usuais desses cenários do dia a dia.

Dessa forma, de posse da implementação em código Python dos algoritmos, obteve-se resultados próprios para as detecções. Escreveu-se um código que extrai o sinal amostrado de ECG dos arquivos da base de dados GUDB, roda os algoritmos de detecção sobre os dados e exporta um arquivo em formato de texto com todos os instantes de detecção encontrados por cada algoritmo. Esses arquivos foram então comparados com os arquivos *annotation* disponíveis para levantamento de parâmetros de desempenho.

Utilizou-se a sensibilidade (S) como principal dado para avaliar um algoritmo (PORR; HOWELL, 2019), a qual é definida como a probabilidade de verdadeiro positivo (razão entre o total de picos R detectados e o total de picos R que ocorreram). Além disso, tomou-se o desvio médio (DM), que é o desvio em número de amostras médio entre o instante real do batimento cardíaco, conforme dado no arquivo *annotation*, e o instante em que foi detectado pelo algoritmo. Considerou-se uma detecção como correta se estiver a, no máximo, uma distância de dez amostras da onda real (até no máximo 40 ms de atraso).

Buscando explorar um pouco mais o algoritmo de Pan e Tompkins (PAN; TOMPKINS, 1985) e melhorar seus resultados, criou-se uma variação alterando a banda de filtragem do mesmo. Esse algoritmo filtra o sinal de ECG utilizando um filtro passa-faixa com banda de passagem de 5 a 11 Hz, conforme proposta original dos autores. A fim de estudar o impacto da variação da banda de passagem do filtro sobre a precisão da detecção, Elgendi et al (ELGENDI; JONKMAN; DEBOER, 2010) testaram diversos valores e concluíram que a banda ótima de passagem é dada por 8 a 20 Hz. Assim, a terceira implementação substituiu, na implementação conforme (SHARMA, [s.d.]), a filtragem realizada na banda original pela banda ótima definida por Elgendi et al.

Por fim, com base nos resultados obtidos criou-se um algoritmo híbrido entre o código de Christov e Lourenço-Engzee (CHRISTOV, 2004; ENGELSE; ZEELENBERG, 1979; LOURENÇO et al., [s.d.]; SHARMA, [s.d.]), o qual foi implementado também em linguagem Python.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

A Tabela 1 reúne os resultados mais relevantes obtidos neste trabalho, apresentando os parâmetros de desempenho definidos na metodologia para detectores variados. As implementações dos algoritmos foram feitas por Porr e Howell (PORR et al., 2023), exceto para o algoritmo de Pan e Tompkins (PAN; TOMPKINS, 1985), que foi implementado por Sharma K. (SHARMA, [s.d.]).

Os dados à esquerda são relativos aos sujeitos que estão realizando uma prova de matemática, enquanto os valores à direita são para sujeito correndo. É fácil perceber que o desempenho de todos os algoritmos piora para a condição de corrida, o que é esperado, pois envolve frequências cardíacas elevadas e altos níveis de ruído, representando a condição de teste mais extrema.

Em geral, o desempenho dos algoritmos na base GUDB encontra-se bastante abaixo do que seus artigos originais apontavam quando testados em base de dados clássicas, conforme também constatado por Porr e Howell (PORR; HOWELL, 2019). O algoritmo modificado de Pan e Tompkins (PAN; TOMPKINS, 1985) (banda de frequência otimizada), porém, demonstrou uma melhora significativa na sensibilidade em ambas as categorias, reiterando a conclusão de Elgendi et al (ELGENDI; JONKMAN; DEBOER, 2010).

Dois algoritmos se destacam em categorias diferentes. O algoritmo de Christov (CHRISTOV, 2004), justifica sua complexidade apresentando surpreendente sensibilidade de 95% ou maior para ambas as situações. Já o algoritmo de Engelse e Zeelenberg (ENGELSE; ZEELENBERG, 1979) com adaptações por Lourenço et al (LOURENÇO et al., [s.d.]) destaca-se pela exatidão, já que praticamente não introduz atraso na detecção do pico R, enquanto mantém razoável sensibilidade. Para isso, ele retorna ao sinal original (sem filtragem) e toma a onda R como o ponto de máximo dentro de uma janela estabelecida.

Tendo em vista o destaque desses algoritmos, o algoritmo híbrido entre ambos foi escolhido como aquele que será implementado em microcontrolador. O desempenho do mesmo pode ser visto na linha “Algoritmo final” e toma todas as detecções de Lourenço-Engzee (LOURENÇO et al., [s.d.]) como corretas, complementando-as com detecções de Christov (CHRISTOV, 2004) quando constatado que muito tempo se passou entre detecções (um pulso provavelmente não foi detectado).

<i>Algoritmo</i>	<i>Prova de matemática</i>		<i>Correndo</i>	
	<i>S</i>	<i>DM</i>	<i>S</i>	<i>DM</i>
(ELGENDI; JONKMAN; DEBOER, 2010)	0,22	1,894	0,10	2,441
<b>Matched Filter</b> (PORR; HOWELL, 2019)	0,03	6,144	0,03	4,428
(KALIDAS; TAMIL, 2017)	0,48	4,368	0,58	4,619
(ENGELSE; ZEELENBERG, 1979; LOURENÇO et al., [s.d.])	0,88	0,025	0,79	0,008
(CHRISTOV, 2004)	0,99	1,682	0,95	3,559
(HAMILTON, 2002)	0,18	6,793	0,36	6,606
(PAN; TOMPKINS, 1985)	0,64	0,000	0,62	0,110
Idem, com (ELGENDI; JONKMAN; DEBOER, 2010)	0,80	0,001	0,67	0,022
(ZONG; MOODY; JIANG, 2003)	0,96	3,100	0,86	5,275
<b>Algoritmo Final</b> (CHRISTOV, 2004; LOURENÇO et al., [s.d.])	0,96	1,103	0,94	2,505

Tabela 1: parâmetros obtidos para cada algoritmo na base GUDB para sujeitos realizando uma prova de matemática (esquerda) e correndo (direita)

## CONCLUSÕES:

Embora alguns detectores de onda R clássicos se destaquem e possam ter seu desempenho melhorado por ajustes, fica evidente que os algoritmos possuem desempenho bastante inferior ao esperado quando sujeitos a testes realistas, mostrando a relevância de bases como GUDB para o futuro dos trabalhos nesses algoritmos, assegurando que sejam cada vez mais confiáveis e precisos.

No que diz respeito ao presente trabalho, a proposta mostrou-se exequível utilizando programação de alto nível para agilizar o processo, completando com sucesso o objetivo de definir um algoritmo adequado para a aplicação de HRV proposta. Esse algoritmo apresenta bom equilíbrio entre exatidão temporal de detecção e sensibilidade, enquanto se mantém simples o suficiente para ser implementado em sistema embarcado. Dessa forma, espera-se realizar tal implementação até o fim da vigência desta pesquisa e confirmar as simulações teóricas com testes práticos em tal sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- CHRISTOV, I. I. Real time electrocardiogram QRS detection using combined adaptive threshold. **BioMedical Engineering Online**, v. 3, 27 ago. 2004.
- ELGENDI, M.; JONKMAN, M.; DEBOER, F. **Frequency bands effects on QRS detection**. BIOSIGNALS 2010 - Proceedings of the 3rd International Conference on Bio-inspired Systems and Signal Processing, Proceedings. **Anais...**2010.
- ENGELSE, W. A. H.; ZEELENBERG, C. **SINGLE SCAN ALGORITHM FOR QRS-DETECTION AND FEATURE EXTRACTION**. Computers in Cardiology. **Anais...**1979.
- HAMILTON, P. **Open source ECG analysis**. Computers in Cardiology. **Anais...**2002.
- HOWELL, L.; PORR, B. High precision ECG Database with annotated R peaks, recorded and filmed under realistic conditions. 18 dez. 2018.
- KALIDAS, V.; TAMIL, L. **Real-time QRS detector using stationary wavelet transform for automated ECG analysis**. Proceedings - 2017 IEEE 17th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering, BIBE 2017. **Anais...**2017.
- LOURENÇO, A. et al. **REAL TIME ELECTROCARDIOGRAM SEGMENTATION FOR FINGER BASED ECG BIOMETRICS**. [s.l: s.n.].
- PAN, J.; TOMPKINS, W. J. A Real-Time QRS Detection Algorithm. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. BME-32, n. 3, p. 230–236, 1985.
- PORR, B. et al. Popular ECG R peak detectors written in python. 18 fev. 2023.
- PORR, B.; HOWELL, L. R-peak detector stress test with a new noisy ECG database reveals significant performance differences amongst popular detectors. **bioRxiv**, p. 722397, 1 jan. 2019.
- RODRIGUEZ, V. H.; MEDRANO, C.; PLAZA, I. Embedded System Based on an ARM Microcontroller to Analyze Heart Rate Variability in Real Time Using Wavelets. **Wireless Communications and Mobile Computing**, v. 2018, 2018.
- SHARMA, K. **Pan\_Tompkins\_QRS\_Detection/Pan\_Tompkins.ipynb at main · antimattercorrade/Pan\_Tompkins\_QRS\_Detection · GitHub**. Disponível em: <[https://github.com/antimattercorrade/Pan\\_Tompkins\\_QRS\\_Detection/blob/main/Pan\\_Tompkins.ipynb](https://github.com/antimattercorrade/Pan_Tompkins_QRS_Detection/blob/main/Pan_Tompkins.ipynb)>. Acesso em: 27 fev. 2023.
- ZONG, W.; MOODY, G. B.; JIANG, D. **A robust open-source algorithm to detect onset and duration of QRS complexes**. Computers in Cardiology. **Anais...**2003.