ANÁLISE DO IMPACTO DE FILTROS DIGITAIS NA EXTRAÇÃO DE PARÂMETROS DE DIAGNÓSTICO DO SINAL ECG

JuliÃo Alberto Langa [1], Elieser Timóteo Sanhá [2], João Paulo do Vale Madeiro [3]

RESUMO

Durante o processo de gravação do exame ECG, os sinais são inevitavelmente contaminados por diferentes tipos de ruído e artefatos. O processo de eliminação ou atenuação do ruído usando-se diferentes filtros digitais atua previamente à extração de parâmetros do sinal ECG. No entanto, como aspecto crítico, as interferências se sobrepõem ao conteúdo espectral das ondas características, de forma que a aplicação de métodos de filtragem pode resultar em distorções de informações clínicas importantes. O presente trabalho tem como objetivo aferir e comparar o grau de distorção resultante da aplicação de um conjunto de técnicas de filtragem para eliminação de interferências de alta e baixa frequência. Para tanto, algoritmos computacionais realizam a extração de parâmetros de sinais ECG sintéticos em dois cenários específicos: primeiramente sobre sinais ECG gerados por modelos dinâmicos sem qualquer contaminação por ruído, e, em seguida, sobre os mesmos sinais ECG após contaminação por ruído de baixa ou alta frequência e aplicação dos correspondentes processos de filtragem. Os resultados obtidos compreendem a análise das variações ocasionadas pela aplicação dos processos de filtragem sobre o seguinte conjunto de parâmetros: duração e amplitude da onda P, duração e amplitude do complexo QRS, duração e amplitude da onda T e intervalos entre batimentos. Dentre os diversos resultados colhidos, as simulações computacionais permitiram constatar que a amplitude do complexo QRS pode sofrer uma variação máxima de até 10,8752% resultante da aplicação do filtro IIR e uma variação mínima de 0,1682% quando da aplicação do filtro *Wavelet*. Já o parâmetro duração da onda P pode sofrer uma variação máxima de até 15,2786% resultante da aplicação do filtro FIR e variação mínima de 1,1210% quando da aplicação do filtro *Wavelet*.

Palavras-chave:

Sinal ECG. filtros digitais. transformada Wavelet. detecção e segmentação das ondas características.

[1] Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Discente, e-mail: julitolanga@gmail.com
[2] Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto da Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Discente, e-mail: rocky.sanha@outlook.pt
[3] Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Docente, e-mail: jpaulo.vale@unilab.edu.br

INTRODUÇÃO

O sinal ECG é formado pela onda P, pelo complexo QRS e pela onda T. Os principais parâmetros de interesse do sinal incluem a forma, a duração e os intervalos entre as referidas formas de onda (Mcsharry,2003). As alterações nesses parâmetros indicam prováveis patologias que podem derivar de causas diversas. Durante a medição do ECG, ruídos ou artefatos são sobrepostos ao conteúdo útil do sinal, tais como: as harmônicas da tensão fornecida pela rede elétrica, a interferência da atividade respiratória, a movimentação do paciente, além do próprio equipamento de aquisição (Nayak et. al, 2012; AlMahamdy et. al, 2014; R. J. Martis et. al, 2014). Essas interferências, podem levar a uma leitura e interpretação incorreta de dados coletados e resultar em diagnóstico médico equivocado. O processo de filtragem tem por objetivo reduzir o nível de interferência do sinal e, simultaneamente, evitar a ocorrência de distorções das formas de onda. A prevenção quanto à ocorrência de distorção, como característica de um processo de filtragem eficiente, é de vital importância para que não sejam realizadas análises ou diagnósticos incorretos do sinal ECG (Agante et. al, 1999; Luo e Johnston, 2010).

O objetivo do presente trabalho é analisar o impacto de diferentes filtros digitais sobre um conjunto de parâmetros de diagnóstico extraídos a partir da segmentação das ondas do ECG: duração e amplitude da onda P, duração e amplitude do QRS, duração e amplitude da onda T e intervalos entre batimentos. São comparadas as aplicações dos filtros IIR, FIR, e transformada *Wavelet* discreta, especificamente os filtros da família *Daubechies* (“db”). Cada uma das referidas técnicas é avaliada em duas categorias: *passa-alta* e *passa-baixa*, para eliminação de ruído de baixa e alta frequências, respectivamente.

METODOLOGIA

A fase preliminar da execução do presente trabalho concentrou-se em revisão bibliográfica, refente à fisiologia cardíaca básica e de interpretação clínica de aspectos morfológicos das ondas características do sinal ECG. Na sequência, fez-se a implementação computacional em ambiente MATLAB de um simulador de sinais ECG artificiais a partir de modelos dinâmicos, conforme proposto no trabalho de Mcsherry et.al,2003. Tais modelos permitem a simulação de 20 diferentes morfologias de complexo QRS: qR, qRs, Rs, R, RS, rSR', rR', qrSr', RSr', rR's, rS, rSr', Qr, QS, QR, qrS, qS, rsR's', QRs, Qrs. Cada morfologia deriva de ajustes nos parâmetros dos modelos dinâmicos, os quais controlam o instante de ocorrência do batimento, as amplitudes de cada onda característica e a largura temporal de cada forma de onda. Em seguida, rotinas de inserção simulada de ruído senoidal de alta e baixa frequência são aplicadas sobre sinais artificiais "limpos" de referência. As componentes de ruído de baixa frequência aplicadas nos testes correspondem à faixa de 0 a 1 Hz, com passo de 0,05 Hz. Já as componentes de ruído de alta frequência utilizadas nos experimentos correspondem à faixa de 50 a 180 Hz, com passo de 5 Hz.

Em seguida, foram aplicados sobre os conjuntos de sinais ruidosos, organizados nas diversas componentes de frequência e nas 20 diferentes possibilidades de morfologias de complexo QRS, os filtros FIR, IIR e *Wavelet* para eliminação de ruído de baixa e alta frequência. O objetivo desse procedimento é medir um conjunto de parâmetros de diagnóstico do sinal ECG após um dado processo de filtragem e aferir a variação percentual dos valores desses parâmetros em relação aos obtidos para os sinais “limpos” de referência.

O filtro FIR apresenta resposta ao impulso, de duração finita, dada pela seguinte expressão matemática (SEMMLOW, 2004):

em que *b(n)* é a função de coeficientes de comprimento L, *x(n)* é o sinal da entrada e *y(n)* é o sinal da saída do sistema. Já a resposta de um filtro IIR depende do valor instantâneo do sinal de entrada e dos valores passados, bem como dos valores passados do sinal de saída. A duração da resposta ao impulso é infinita, devido à dependência da recursividade, ou saídas passadas (SEMMLOW, 2004):

em que b(n) e a(n) são vetores de coeficientes.

O processo de eliminação das componentes de ruído por transformada *Wavelet* (TW) exige a realização das

etapas de decomposição, limiarização e reconstrução. Para tanto, a escolha da *wavelet*-mãe e do nível de decomposição é criticamente importante. A decomposição por (TW) pode ser vista como um processo iterativo, em que um sinal é sucessivamente decomposto em componentes de faixas de resolução decrescentes no tempo e na frequência, conforme figura abaixo:

Figura 1. Decomposição de um sinal por transformada *Wavelet* discreta: implementação por banco de filtros

Para os processos de detecção e segmentação dos complexos QRS, utiliza-se a técnica desenvolvida por Madeiro et. al. (2012), baseada em limiar adaptativo para identificação das ondas R e no cálculo do envelope de cada QRS a partir da filtragem passa-banda de janelas de busca para o seu delineamento, utilizando-se as transformadas *Wavelet* (TW) e de Hilbert. Para os processos de detecção e segmentação das ondas P e T, utiliza-se a técnica desenvolvida por Madeiro et. al. (2017), baseada na modelagem das ondas P e T por combinações de funções Gaussiana.

Foram comparados, então, filtros IIR para eliminação de ruído de baixa frequência (filtro *passa-alta*) com filtros FIR e filtros *Wavelet* também para eliminação de ruído de baixa frequência. Em seguida, foram comparados filtros IIR para eliminação de ruído de alta frequência (filtro passa-baixa) com filtros FIR e filtros *Wavelet*, também para eliminação de ruído de alta frequência. Considerando-se os filtros IIR (tanto passa-baixa como passa-alta), foram aplicados testes com números de coeficientes iguais a 4, 5, 6, 7, 8 e 9, e utilizou-se a ferramenta designfilt do Matlab, fornecendo-se como parâmetros de entrada as frequências banda-passante de 0,67 Hz (filtros passa-alta) e 45 Hz (filtro *passa-baixa*). Quanto aos filtros FIR, foram aplicados testes com números de coeficientes iguais a 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 e 6400 coeficientes, tanto *passa-baixa* como passa-alta, e utilizou-se a ferramenta *designfilt* do Matlab, fornecendo-se como parâmetros de entrada as frequências *stopband* e *banda-passante*, respectivamente, de 0,5 e 0,6 Hz (filtro *passa-alt*a), e respectivamente, de 48,6 e 48,4 Hz (filtro passa-baixa). Quanto aos filtros *Wavelet,* testes de eliminação de ruído de baixa frequência utilizaram um processo de 8 (oito) decomposições e reconstrução, eliminando-se os coeficientes de aproximação após o oitavo nível de decomposição. Para eliminação de ruído de alta frequência, os testes computacionais utilizaram um processo de 2 (duas) decomposições e reconstrução, eliminando-se os coeficientes de detalhe de primeiro e segundo nível de decomposição. Nesta etapa, a seguinte família *Daubechies* foi implementada: db1, db2, db3, db4, db5, db6, db7, db8, db9 e db10.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos compreendem a determinação da média e do desvio-padrão da variação percentual dos parâmetros de diagnóstico causada por cada filtro aplicado, considerando-se as morfologias qRs e qR, escolhidas aleatoriamente para o complexo QRS, conforme Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1: Desempenho de cada filtro sobre os parâmetros de diagnóstico para a morfologia qRs

Tabela 2: Variações máximas e mínimas do impacto dos filtros sobre a duração e amplitude das ondas (morfologia qRs)

Tabela 3: Desempenho de cada filtro sobre os parâmetros de diagnóstico para a morfologia qR

Tabela 4: Variações máximas e mínimas do impacto dos filtros sobre a duração e amplitude das ondas (morfologia qR)

Constata-se portanto que a duração da onda P e a amplitude da onda T obtiveram máximas variações em todas as morfologias decorrentes da aplicação do filtro FIR passa-alta com 6400 coeficientes. Já o filtro IIR passa-baixa com 6 coeficientes, para todas as morfologias testadas, causou sobre as amplitudes da onda P e do complexo QRS, respectivamente, distorções significativas como se pode ver nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

Não obstante, o filtro FIR passa-baixa com 6400 coeficientes obteve o melhor desempenho em todas as morfologias para todos os parâmetros de diagnóstico estudados, conforme as Tabelas 1 e 3. O filtro Wavelet tanto para passa-alta quanto para passa-baixa ocasionou mínimas distorções sobre a maioria dos parâmetros de diagnóstico estudados em todas as morfologias, configurando-se sobremaneira com o melhor desempenho comparado aos outros filtros analisados para a remoção de ruído de baixa ou alta frequências, conforme verificado nas Tabelas 2 e 4. A Figura 2 exemplifica processos de filtragem de ruído de baixa e alta frequência com as correspondentes observações de distorção.

Figura 2: Diferentes graus de distorção causados pela aplicação dos filtros digitais na extração dos parâmetros de diagnósticos sobre o sinal ECG com diferentes níveis de interferência.

CONCLUSÕES

As análises efetuadas demonstram que quaisquer filtros aplicados na eliminação de ruído promovem um determinado grau de distorção no sinal. Os resultados mostram que o filtro *wavelet* do tipo *daubechies* realiza uma filtragem menos impactante em comparação com os filtros FIR e IIR analisados. A filtragem sucedeu-se para as 20 morfologias com a remoção de ruídos de alta frequência e baixa frequência, resultando em variações médios reduzidos, valores entre 0,0001% e 1,8853% para a frequência de oscilação mais alta e valores entre 0,0000% e 0,8169% de média para as menores frequências. Conclui-se ainda que, a amplitude e duração da onda T, bem como a duração da onda P, são mais impactadas pela aplicação do filtro FIR passa-alta. Outra observação importante é que o desempenho de um dado filtro varia com as componentes de frequência do ruído e com a morfologia do batimento, requerendo, portanto, que a escolha do filtro mais adequado para uma dada aplicação seja realizada com base nas características do sinal.

AGRADECIMENTOS

Á Unilab, Cnpq, Funcap, obrigado!

REFERÊNCIAS

AGANTE, P. M.; MARQUES DE SÁ, J. P. ECG Noise Filtering using Wavelets with Soft-thresholding Methods. Computers in Cardiology, v. 26, p. 535-538, 1999.

ALMAHAMDY, MOHAMMED; BRYAN RILEY, H. Performance Study of Different Denoising Methods for ECG Signals. Procedia Computer Science, v. 37, p. 325-332, 2014.

BOLZAN, M. J. A. Análise da transformada em Wavelets aplicada em sinal geofísico. Revista Brasileira de

Ensino de Física, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 37-41, 2004.
GOLDBERGER, A. L.; AMARAL, L. A. N.; GLASS, L.; HAUSDORFF, J. M.; IVANOV, P. C.; MARK, R. G.; MIETUS, J. E.; MOODY, G. B.; PENG, C. K.; STANLEY, H. E. Physiobank, physiotoolkit, and physionet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. Circulation, v. 101, n. 23, p. e215-e220, June 2000.

LUO, S.; JOHNSTON, P. A review of electrocardiogram filtering. Journal of Electrocardiology, v. 43, n. 6, p. 486-496, November-December 2010.

MCSHARRY, P. E.; CLIFFORD, G. D.; TARASSENKO, L.; SMITH, L. A. A Dynamical Model for Generating Synthetic

Electrocardiogram Signals. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v. 50, n. 3, p. 289-294, March 2003.

MARTIS, R. J.; ACHARYA, U. R.; ADELI, H. Current methods in electrocardiogram characterization. Computers in Biology and Medicine, v. 48, p. 133-149, 2014.

MADEIRO, J. P. do V.; Santos, E. M. B. E. dos S.; CORTEZ, P. C; FELIX, J.H. da S.; SCHLINDEIN, F. S. Evaluating gaussian and Rayleigh-based mathematical models for T and P-waves in ECG. IEEE Latin American Transactions, 15(5):843-853,2017

MADEIRO, J. P. do V.; CORTEZ, P. C.; MARQUES, J. A. L.; VÁZQUEZ-SEISDEDOS, C. R.; SOBRINHO, C. R. M. R. An innovative approach of QRS segmentation based on first-derivative, Hilbert and Wavelet Transforms. Medical Engineering and Physics, v. 34, n. 9, p. 1236-1246, November 2012.

NAYAK, S.; SONI, M. K.; BANSAL, D. Filtering Techniques for ECG Signal Processing. International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences (IJREAS), v. 2, n. 2, p. 671-679, February 2012.
SEMMLOW, J.L. Biosignal and Biomedical Image Processing, MATLAB Based Applications". Marcel Dekker, Inc. New York, p.177-190, 2004

SILVA, V. A. Transformada wavelets – abordagem de sua aplicabilidade. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXIV, Nº. 000059, Disponível em: , Acesso em 10 setembro de 2018.