



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BRUNO JOSÉ NOGUEIRA DIAS

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA FAMÍLIA DAUBECHIES QUANTO A SUA
UTILIZAÇÃO NO CÁLCULO DE TRANSFORMADAS WAVELETS
APLICADAS AO PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS DE
ELETROCARDIOGRAMA

PAU DOS FERROS/RN

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BRUNO JOSÉ NOGUEIRA DIAS

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA FAMÍLIA DAUBECHIES QUANTO A SUA
UTILIZAÇÃO NO CÁLCULO DE TRANSFORMADAS WAVELETS
APLICADAS AO PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS DE
ELETROCARDIOGRAMA

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-árido - UFERSA,
Campus Pau dos Ferros para a obtenção
do título de Bacharel em Ciência e Tecno-
logia.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius Samuel Valério de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Ernano Arrais Junior

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

PAU DOS FERROS/RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D541a Dias, Bruno José Nogueira.
Análise de desempenho da família Daubechies
quantos a sua utilização no cálculo de
transformadas Wavelets aplicadas ao processamento
digital de sinais de eletrocardiograma / Bruno
José Nogueira Dias. - 2017.
27 f. : il.

Orientador: Vinícius Samuel Valério de Souza.
Coorientador: Ernano Arrais Junior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2017.

1. Eletrocardiograma.. 2. Transformada Wavelet
. 3. Família Daubechies. I. Souza, Vinícius Samuel
Valério de, orient. II. Arrais Junior, Ernano, co-
orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BRUNO JOSÉ NOGUEIRA DIAS

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA FAMÍLIA DAUBECHIES QUANTO A SUA
UTILIZAÇÃO NO CÁLCULO DE TRANSFORMADAS WAVELETS
APLICADAS AO PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS DE
ELETROCARDIOGRAMA

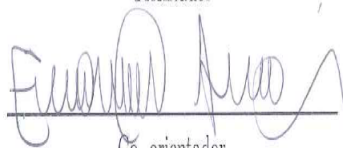
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-árido - UFERSA, Campus Pau dos Ferros para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Trabalho aprovado em Pau dos Ferros/RN, 22 de Maio de 2017:



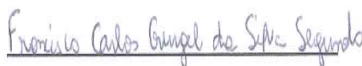
Prof. Dr. Vinicius Samuel Valerio de Souza

Orientador



Co-orientador

Prof. Dr. Ernane Arrais Junior



Professor Avaliador

Prof. Me. Francisco Carlos G. da S. Segundo

Pau dos Ferros/RN

2017

*A meu avô José Nogueira, a minha namorada Rebeca Dantas e especialmente a
meu tio Rafael Nogueira.*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, cabe o agradecimento ao meu orientador Vinícius Samuel, por me aguentar e ao meu co-orientador Ernano Arrais cujo voto de confiança depositado foi o incentivo constante para a concretização desse trabalho. Agradeço também a Segundo, Náthalee e Verônica pela iniciativa do LASBIO, projeto que serviu de apoio para esse trabalho.

Agradeço a minha família no geral, tanto paterna/materna (Pai, Mãe, avôs, tios(as), primos(as) e afins). Dos familiares mais específicos dedico a meu tio RAFAEL NOGUEIRA, pela inspiração. Dedico também esse trabalho a minha prima ANA CARLA, ela que me apoiou nos momentos difíceis, me ajudou quando precisava, mais que uma prima, uma IRMÃ.

Aos meus amigos e colegas do LASBio, Artênio Moraes, Lucas Cardoso, Juarez Alexandre, Igor Ramon, Moisés Barros, Vanerica, Débora Moraes e Matheus Duarte. Da família UFERSA, Juan Carlos, Vitor Lima, Izack Silva, Paulo Neto, Karol Azevedo, Guilherme Moraes. Dos amigos mais próximos, Jefferson Alves, Saulo Magalhães, Henrique Almeida, Renato Nogueira, Sávio Magalhães e Carlos Italo.

Aos meus amores, Rebeca Dantas e Bruna Fernandes (meu braço direito na vida, uma verdadeira amiga que sempre me apoiou).

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), que forneceu o espaço físico.

O conhecimento nos faz necessário. (Che Guevara)

RESUMO

Segundo dados levantados pela **OMS** (Organização Mundial de Saúde), cerca de 30 % dos óbitos anuais decorrem de doenças cardiovasculares. Tal indicador, tem motivado pesquisas voltadas a desenvolver sistemas computacionais que visam auxiliar a análise de sinais de Eletrocardiograma, os quais, nos últimos anos, vem utilizando a Transformada *Wavelet* (TW) como ferramenta de suporte matemático. Haja vista que tal Transformada utiliza funções base, denominadas famílias *Wavelet*, em seu cálculo, o presente trabalho objetiva realizar uma análise de desempenho comparativa em relação quanto a precisão das diversas variantes da família Daubechies em relação a capacidade desta de reprodução de diversos parâmetros e características presentes em sinais de ECG coletados de pacientes.

Palavras-chaves: Eletrocardiograma. Transformada *Wavelet*. Família Daubechies.

ABSTRACT

According to data compiled by the **WHO** (World Health Organization), about 30 % of annual deaths are due to cardiovascular diseases. This indicator has motivated research aimed at developing computational systems that aim to aid the analysis of electrocardiogram signals, which in recent years has been using the Wavelet transform (TW) as a mathematical support tool. Since this transform uses base functions, called Wavelet families, in its calculation, the present work aims to perform a comparative performance analysis in relation to the accuracy of the several variants of the Daubechies family in relation to the capacity of this family of reproduction. Several parameters and characteristics present in ECG signals collected from patients.

Key-words: Electrocardiogram. Wavelet Transform. Daubechies family.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do Coração	14
Figura 2 – Derivações Bipolares	15
Figura 3 – Derivações Torácicas	16
Figura 4 – Diagrama de bloco para dois níveis de resolução da TWD	17
Figura 5 – Representação função <i>Wavelet</i> do tipo Haar	18
Figura 6 – Representação função <i>Wavelet</i> do tipo Daubechies	19
Figura 7 – Representação função <i>Wavelet</i> do tipo Symlets	19
Figura 8 – Representação função <i>Wavelet</i> do tipo Coiflets	19
Figura 9 – Representação função <i>Wavelet</i> do tipo Meyer	20
Figura 10 – Diferença entre as energias de cada amostra para os sinais de ECG originais e os coeficientes de aproximação de primeiro nível de resolução de cada variante da família Daubechies adotada neste trabalho	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Médias e Desvios padrões das Energias Família <i>Daubechies</i>	23
Tabela 2	– Diferença das médias e dos desvios padrões	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	CORAÇÃO	14
2.2	TRANSFORMADA WAVELET	16
2.2.1	Tipos de Famílias <i>Wavelets</i>	18
2.2.2	<i>Wavelets</i> voltado ao ECG	20
3	ANÁLISE DE DESEMPENHO	21
3.1	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.2	RESULTADOS	22
3.3	DISCUSSÕES	23
4	CONCLUSÃO	25
4.1	TRABALHOS FUTUROS	25
	REFERÊNCIAS	26
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

O sinal biomédico (biopotencial) é um fenômeno elétrico gerado por diferenças de potencial causadas pela distinta concentração de íons nas paredes das membranas celulares (QUILLFELDT, 2005). Tais sinais descrevem informações relativas às atividades biológicas do corpo humano, o que torna o monitoramento destes uma atividade de suma importância para os profissionais de saúde, uma vez que viabiliza o acompanhamento do quadro clínico de indivíduos e possibilita a rápida detecção e tratamento de patologias que podem acometê-los.(GUYTON, 2006)

Tendo em vista a importância do monitoramento de biopotenciais na área da saúde, recentes avanços dos sistemas eletrônicos e computacionais nos últimos anos permitiu o surgimento de diversas soluções de *hardware/software* destinadas à aquisição e análise de sinais biomédicos (SAÚDE, 2014). Essas soluções têm sido voltadas tanto para ajudar o diagnóstico de determinadas patologias como também para auxiliar sistemas de suporte destinados a facilitar a realização de tarefas por parte de indivíduos que tenham dificuldades de mobilidade.

Grande parte desses sistemas computacionais recentemente desenvolvidos procuram auxiliar a análise de sinais de ECG (Eletrocardiograma), uma vez que, segundo a OMS (2014) (Organização Mundial de Saúde), 30 % dos óbitos anuais decorrem de doenças cardiovasculares. Nesse ponto, tendo em vista que a grande maioria desses sistemas utilizam transformada *Wavelet* (TW), o presente trabalho objetiva analisar diversas variantes existentes da função base (também denominada de família) Daubechies, a qual pode ser utilizada para o cálculo dessa transformada.

No Estudo a ser realizado, vale ressaltar que as variantes da família Daubechies distinguem-se apenas em termos da ordem dos filtros utilizados no cálculo da transformada *Wavelet*. Assim, o foco principal desse trabalho é apenas na avaliação de tais variantes quanto a precisão destas na reprodução de características e parâmetros verificados em sinais de eletrocardiograma coletados de pacientes acometidos ou não por eventuais patologias cardíacas.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.1.1 Objetivo Geral

Efetuar uma análise de desempenho comparativa em relação a precisão das diversas variantes da família Daubechies quanto a capacidade destas de reproduzir características e parâmetros verificados em sinais de ECG.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Efetuar uma breve revisão bibliográfica acerca da fisiologia do coração e de como os sinais de eletrocardiograma são gerados neste;

- Realizar uma breve revisão acerca da fundamentação teórica vinculada as principais famílias da transformada *Wavelet* e de como esta pode ser calculada;
- Analisar comparativamente as diversas variantes da família Daubechies em relação a a capacidade destas de reproduzir características verificadas em sinais de ECG.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica do trabalho. No capítulo 3 é apresentado a metodologia utilizada para extrair os resultados do trabalho, bem como é feita a apresentação e a análise destes. Por fim, no capítulo 4 são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como os possíveis trabalhos futuros decorrentes deste.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CORAÇÃO

O Coração é o principal órgão do sistema cardiovascular e é dividido em duas bombas: a situada no lado direito, que tem como objetivo bombear sangue para os pulmões, e a situada no lado esquerdo, que bombeia sangue para o restante dos órgãos. Além disso, o coração é composto por três músculos principais que são: o músculo atrial, o músculo ventricular e as fibras especializadas. A maior parte do coração é composta pelo miocárdio e, além disso, tal órgão é disposto na forma de sincício, na qual as células musculares cardíacas estão tão interligadas que, quando acontece um potencial de ação e uma delas é excitada, esse potencial se espalha para as demais células. (GUYTON, 2006)

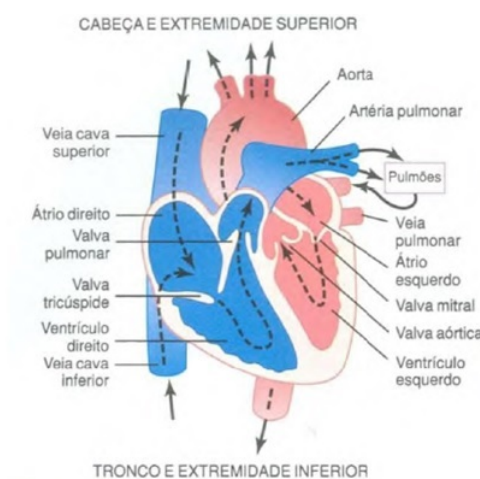


Figura 1 – Estrutura do Coração

Fonte: Adaptada Guyton (2006)

Nas membranas dos tecidos dos órgãos que compõem o corpo humano normalmente não há liberdade de elétrons livres, ocorrendo, portanto, a criação de potencial de repouso em decorrência apenas do compartilhamento desigual dos íons em solução nos dois lados dessas membranas. Neste cenário, em alguns momentos o potencial elétrico modifica seu valor inicial, atingindo uma polaridade inversa, por um curto período, processo este denominado potencial de ação (QUILLFELDT, 2005).

De acordo com Arrais Junior (2016) os primeiros estudos na captação de sinais elétricos no coração foram feitos por Waller, onde ele utilizou um eletrômetro capilar, criado por Lippmann (1845-1921) em 1872. WALLER (1887) colocava os eletrodos em cinco pontos, a boca, os membros superiores direito e esquerdo e os membros inferiores direito e esquerdo. Tal configuração possibilitavam dez diferentes derivações para a captação dos sinais elétricos emitidos pelo coração, dentre as

quais cinco foram escolhidas. Atualmente, todavia, a configuração mais usada para aquisição desses sinais segue a arquitetura publicada por EINTHOVEN (2007), o qual desenvolveu seus trabalhos utilizando inicialmente o eletrômetro capilar e em seguida desenvolvendo o galvanômetro de corda.

A Arquitetura de EINTHOVEN (2007) é fundamentada em análise vetorial e utiliza três pontos estratégicos: os braços direito e esquerdo, e perna esquerda. As combinações de dois desses pontos, com uso de eletrodos posicionados em lados diferentes do coração, são conhecidas como derivações bipolares. Nesse ponto, existem três tipos de derivações bipolares distintas na configuração de *Einthoven*: Derivação I: O terminal negativo é conectado ao braço direito, e o positivo ao braço esquerdo. Derivação II: O terminal negativo é conectado ao braço direito, e o positivo a perna esquerda. Derivação III: O terminal negativo é conectado ao braço esquerdo, e o positivo a perna esquerda.

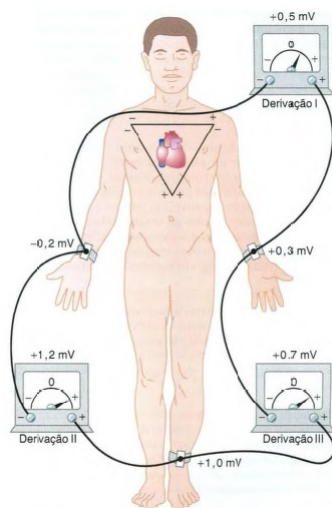


Figura 2 – Derivações Bipolares

Fonte: Adaptada do Guyton (2006)

Além das derivações bipolares também existe as derivações torácicas e as derivações unipolares. Nas derivações torácicas, criadas por WILSON (1944), a captação de sinais é feita ao redor do coração por meio de seis pontos denominados V1, V2, V3, V4, V5 e V6.

Já as derivações unipolares foram proposta por Emanuel E. (1942) onde observando o sistema das derivações de Wilson, ele notou que o sinal poderia ter sua resolução aumentada, esse sistema consiste numa configuração em que dois membros são conectados ao polo negativo por meio de resistências elétricas e o terceiro membro é conectado ao polo positivo. A nomenclatura desse sistema compõe-se de aV_R , aV_L , aV_F . onde o 'a' é o termo aumentado, 'V' é à derivação e seus respectivos subíndices, o 'R' representa o braço direito, 'L' o braço esquerdo e 'F' à perna esquerda.

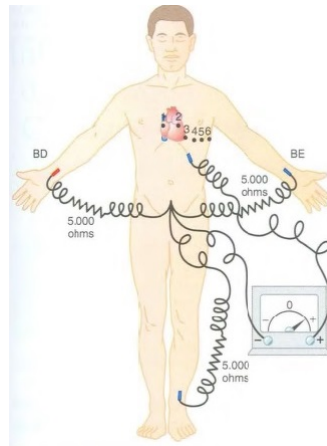


Figura 3 – Derivações Torácicas

Fonte: Adaptada do Guyton (2006)

Independente da configuração adotada, a captação dos sinais elétricos emitidos pelo coração tem assumido um papel bastante relevante na área médica, pois tais sinais descrevem informações relativas às atividades biológicas do músculo cardíaco, o que permite aos profissionais de saúde acompanhar a evolução do quadro clínico de indivíduos e assim rapidamente poder detectar e tratar eventuais patologias que podem acometê-los. Desse modo, o presente trabalho objetiva avaliar a Transformada *Wavelet* quando aplicada ao processamento dos sinais elétricos emitidos pelo músculo cardíaco. No caso, tal Transformada foi escolhida em virtude dela ser uma das principais ferramentas utilizadas nos trabalhos descritos na literatura para o processamento de sinais elétricos emitidos pelo coração em plataformas de hardware/software.

2.2 TRANSFORMADA WAVELET

A Transformada *Wavelet* é uma transformação linear com capacidade de analisar processos não estacionários para extrair informações sobre variações de frequências e detectar suas estruturas temporalmente localizadas.(GURGEL, 2013) São um conjunto de funções produzidas durante as operações matemáticas de translação e escalonamento da função escala, com propriedades exclusivas que as tornam adequadas para servirem de base para a decomposição de outras funções.(FARIA, 1997)

O uso das técnicas wavelets na área de análise de sinais cresceu exponencialmente nas ultimas décadas, pois elas representam uma síntese das técnicas clássicas aliada a resultados recentes

No processo de decomposição *Wavelet* dos sinais, dois coeficientes são gerados: o coeficiente de aproximação, que são os componentes de baixa-frequência, e o coeficiente de detalhe, que corresponde aos componentes de alta-frequência. Mate-

maticamente, tem-se que:

$$s_j(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(n-2k)s_{j-1}(n), \quad (2.1)$$

$$\omega_j(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n-2k)s_{j-1}(n), \quad (2.2)$$

sendo s_j e w_j os coeficientes de aproximação e *Wavelet* na escala (nível de resolução) j , respectivamente, e $g(k)$ e $h(k)$ os filtros passa-baixa e passa-alta, respectivamente. (ARRAIS JUNIOR, 2016).

O cálculo da TWD (Transformada *Wavelet* Discreta) em varias escalas é obtido através da soma de convolução entre os coeficientes de aproximação da escala anterior e os coeficientes do filtros passa-alta ($h(k)$) e passa-baixa ($g(k)$), seguidos por um processo de subamostragem por um fator de dois, tal como o diagrama ilustrado na Figura 1. Assim, os coeficientes de aproximação e *wavelet* na primeira escala são:

$$s_1(k) = \sum_n g(n-2k)s_0(n), \quad (2.3)$$

$$\omega_1(k) = \sum_n h(n-2k)s_0(n), \quad (2.4)$$

em que s_0 representa o sinal original (ou seja, $x_0 = s_0$).

Então, tem-se que o sinal original s_0 é decomposto em duas componentes s_1 e w_1 , sendo estas os coeficientes de aproximação *Wavelet* do primeiro nível de resolução, respectivamente. (ARRAIS JUNIOR, 2016).

A Figura 4 exemplifica o diagrama de bloco do processo de decomposição de um sinal no primeiro nível de resolução, sendo dividido nos coeficientes de aproximação(s_1) e *Wavelet*(w_1). Os bloco g representa o filtro passa-baixa e o bloco h representa filtro passa-alta. Logo, o s_1 representa a saída do filtro passa-baixa, já o sinal w_1 representa a saída do filtro passa-alta na primeira escala, enquanto os blocos $\downarrow 2$ representam a operação de subamostragem por dois do processo de filtragem digital.

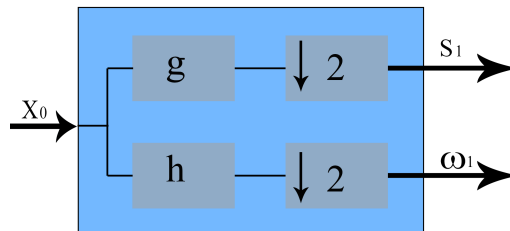


Figura 4 – Diagrama de bloco para dois níveis de resolução da TWD

Fonte: Adaptada de ARRAIS JÚNIOR (2016)

A Transformada de *Fourier* representa um sinal como uma superposição de senoides de diferentes frequências escalonadas por coeficientes constantes, cujos valores destes representam a contribuição de cada uma destas senoides possui na representação do sinal. A transformada *Wavelet*, por sua vez, consiste numa forma alternativa para reconstrução de sinais, que cobrem as deficiências da teoria de *Fourier*, mediante o uso de funções bases, denominadas famílias *Wavelet*, no seu cálculo. Nesse sentido, tais famílias funções possibilitam que um sinal seja exibido juntamente nos domínios do tempo e da frequência, pois representam uma soma de *Wavelets* em diferentes escalas e localizações (SOARES, 2006).

Dada a sua importância, a próxima sessão procura abordar algumas principais famílias *Wavelet* existentes, em termos de suas principais características.

2.2.1 Tipos de Famílias *Wavelets*

- **Wavelet** tipo Haar

Considerada como uma “*Wavelet* digital” devido sua forma de onda parecer um pulso digital (OLIVEIRA, 2007), a família Haar é o tipo mais simples de função base *Wavelet* e desempenha o papel de modelo para todas as outras famílias devido ter sido a primeira. Sua representação está na figura 5.

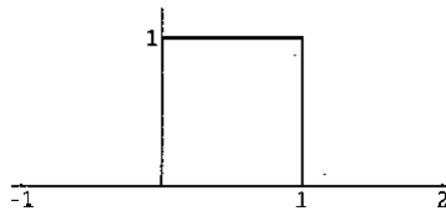


Figura 5 – Representação função *Wavelet* do tipo Haar

Fonte: Retirada de Cipriano (2014)

- *Wavelets* tipo Daubechies

As *Wavelets* Daubechies são baseadas no trabalho de Ingrid Daubechies. Elas apresentam inúmeras e robustas ferramentas para realização de algumas tarefas básicas de processamento de sinal, sendo a sua principal vantagem o fato delas serem ortogonais, o que remete que um erro na entrada não se estende com a transformada. (GUTIERREZ, 2002) Não possuem fase linear, mas são caracterizadas pelo máximo número de momentos em que a função é nula. A *Wavelet* Daubechies de nível 1, que também é conhecida como *Wavelet* de Haar, não possui representação evidente para sua caracterização. Na figura 6 tem-se as famílias de funções *Wavelet*, que são representadas pela sua abreviação 'db' (CIPRIANO, 2014)

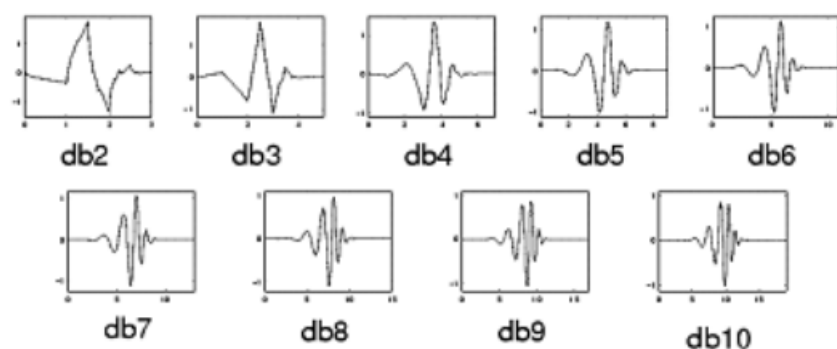


Figura 6 – Representação função *Wavelet* do tipo Daubechies

Fonte: Retirada de Cipriano (2014)

- *Wavelets* tipo Symlets

Este tipo de *Wavelet* foi proposto por Daubechies como uma modificação à família db(N), com possuem propriedades similares, e tendem a ser simétricas (GUTIERREZ, 2002). Essa simetria pode ser observada pela representação na figura 7.

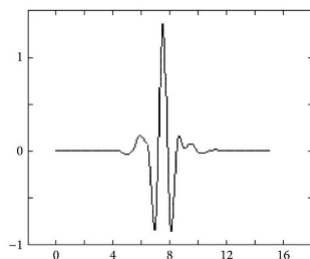


Figura 7 – Representação função *Wavelet* do tipo Symlets

Fonte: Retirada de Cipriano (2014)

- *Wavelets* tipo Coiflets

Este tipo de *Wavelet* é mais simétrico do que o tipo Symlets. Foi construído por Daubechies como requerimento de Coifman. (GUTIERREZ, 2002). A figura 8 demonstra as principais famílias *Wavelet* utilizadas.

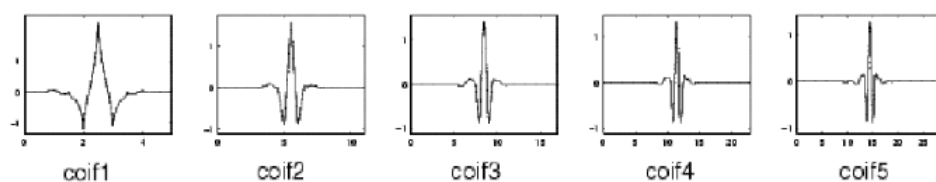


Figura 8 – Representação função *Wavelet* do tipo Coiflets

Fonte: Retirada de Cipriano (2014)

- *Wavelet* tipo Meyer

Baseada transformada de *Fourier*, Yves Meyer utilizou a transformada de *Fourier* para derivar os coeficientes de uma equação que possui dois fatores de escala.

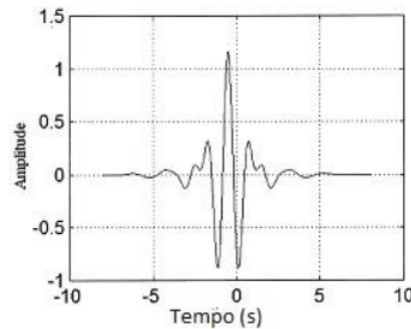


Figura 9 – Representação função *Wavelet* do tipo Meyer

Fonte: Retirada de Cipriano (2014)

2.2.2 *Wavelets* voltado ao ECG

Um dos primeiros trabalhos desenvolvidos relacionando transformadas *Wavelets* e os sinais de eletrocardiograma foram feitos por ZHENG C.; TAI (1995), onde eles desenvolveram um algoritmo baseado em transformada *Wavelet* para detectar pontos característicos de ECG, eles utilizaram o banco de dados *Arrhythmia Database* (MOODY, 2001).

Outro trabalho interessante foi desenvolvido pelos autores Martinez (2004), no qual eles aprimoraram o método proposto por ZHENG C.; TAI (1995) e avaliaram diversos bancos de dados (*Arrhythmia Database*, QT, *European ST-T* e CSE). Os autores avaliaram cada onda separadamente usando a transformada *Wavelet*, com objetivo de levantar de forma mais confiável as características do ECG. (ARRAIS JUNIOR, 2016).

Oliveira (2007) tinha o objetivo de analisar o uso das transformadas *Wavelets* para eliminar interferências e ruídos em sinais de eletrocardiograma (ECG).

O trabalho de Campitelli (2015) tinha como objetivo implementar e avaliar o desempenho de diferentes famílias *Wavelets* na compressão de sinais ECG usando uma nova técnica de quantização, assim como avaliar o desempenho de compressão utilizando diferentes parâmetros para esse novo método de quantização proposto, utilizando o banco de dados *Arrhythmia Database* (MOODY, 2001).

3 ANÁLISE DE DESEMPENHO

O presente capítulo apresenta a metodologia empregada no levantamento dos resultados do presente trabalho, bem como realiza a apresentação destes e sua análise.

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foram selecionadas aleatoriamente 30 amostras de sinais de ECG disponíveis na base de informações do MIT-BIH (*Massachusetts Institute of Technology - Beth Israel Hospital*), na qual existem diversos bancos de dados contendo gravações de sinais de eletrocardiograma com diversas patologias cardíacas. Nesse ponto, escolheu-se o banco de dados do *MIT-BIH Arrhythmia Database*, o qual possui o registro de 48 gravações (de aproximadamente 30 minutos cada) de sinais de ECG que retratam possíveis arritmias cardíacas. Cada gravação do MIT-BIH *Arrhythmia Database* possui dois sinais de derivações diferentes. Assim, para simplificar o processo de análise das amostras, foi considerado apenas um sinal de cada gravação. (MOODY, 2001) (GOLDBERGER, 2000)

Após o processo de escolha das amostras, foram aplicadas transformadas *Wavelets*, calculadas a partir das variantes db(2), db(4), db(6), db(8) e db(10) da família Daubechies (o número entre parênteses indica na quantidade de coeficientes de cada *wavelet* aplicada), em cada um dos 30 sinais de ECG considerados. No caso, a realização desse procedimento foi feito através da utilização do *wavelet* Toolbox (2017) *Wavelet* disponível no *software* MATLAB 2014a da mathworks (2014), sendo que, para cada variante da família Daubechies aplicada, foi salvo o coeficiente de aproximação (resulta de um filtro passa-baixa) de primeiro nível gerado para cada amostra, que apresenta comportamento semelhante ao do sinal original.

Feito isso, calculou-se a energia para cada amostra escolhida, tanto para o sinal de ECG original, quanto para o sinais dos coeficientes de aproximações de primeiro nível das Daubechies utilizadas. Nesse ponto, para o calculo dessas energias usou-se o teorema de *Parseval*, que diz que a energia de um sinal é subdivida pela energia dos coeficientes de aproximação e *wavelet* da seguinte forma:(DINIZ P. S. R. SILVA, 2014)

$$\sum_{k=1}^{k_t} |x(k)|^2 = \sum_{k=1}^{k_t/2^J} |s_J(k)|^2 + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{k_t/2^j} |w_j(k)|^2 \quad (3.1)$$

em que:

$$\sum_{k=1}^{k_t} |x(k)|^2, \quad (3.2)$$

representa a energia do sinal original x ,

$$\sum_{k=1}^{k_t/2^J} |s_J(k)|^2, \quad (3.3)$$

representa a energia dos coeficientes de aproximação da escala J , e

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{k_t/2^j} |w_J(k)|^2 \quad (3.4)$$

representa a energia dos coeficientes *wavelet* da escala j .

3.2 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho estão descritos nas Tabelas 1 e 2 e na Figura 10. Nesse ínterim, tais resultados foram levantados com o auxílio do MATLAB 2014a.

A Tabela 1 descreve os valores normalizados de média e de desvio padrão das energias de cada uma das 30 amostras de sinais de ECG extraídas do banco de dados Moody (2001) *Arrhythmia Database* do Goldberger (2000). Essa tabela também apresenta os valores normalizados de média e de desvio padrão da energia dos coeficientes de aproximação de primeiro nível de resolução calculados mediante a aplicação da transformada *Wavelet* sobre cada uma dessas 30 amostras. Nesse ponto, vale ressaltar que, na apresentação desses valores, são descritos os resultados obtidos para cada uma das variantes (db(2), db(4), db(6), db(8) e db(10)) da família Daubechies adotada neste trabalho.

A Tabela 2 é obtida a partir da Tabela 1 e descreve os valores de diferença entre a média e o desvio padrão das energias das 30 amostras dos sinais de ECG extraídos do banco de dados Moody (2001) *Arrhythmia Database* do Goldberger (2000) e a média e o desvio padrão das energia dos coeficientes de aproximação de primeiro nível de resolução obtidos mediante a aplicação da transformada *Wavelet* sobre cada uma dessas 30 amostras. Similar a Tabela 1, os resultados dessa tabela são apresentados para cada uma das variantes (db(2), db(4), db(6), db(8) e db(10)) da família Daubechies adotada neste trabalho.

A Figura 10 ilustra a diferença entre a energia de cada um dos 30 sinais de ECG extraídos do banco de dados Moody (2001) *Arrhythmia Database* do (GOLDBERGER, 2000) e a energia dos coeficientes de aproximação de primeiro nível de resolução calculados a partir da aplicação da transformada *Wavelet* sobre cada um desses 30 sinais. Nesse ponto, tal figura possui 5 gráficos, cada qual associado a uma das 5 variantes (db(2), db(4), db(6), db(8) e db(10)) da família Daubechies consideradas neste trabalho.

Tabela 1 – Médias e Desvios padrões das Energias Família *Daubechies*

	Média	Desvio Padrão
Original	0.929752910583485	0.099608640424990
db(2)	0.929758511165174	0.099618027917244
db(4)	0.929750509586787	0.099609081361175
db(6)	0.929751472729272	0.099608572165223
db(8)	0.929752039673953	0.099608635919213
db(10)	0.929752910583400	0.099608640424900

Fonte: Autor(2017)

Tabela 2 – Diferença das médias e dos desvios padrões

	Diferença Média	Diferença dos desvios padrões
db(4)	$1.0e-05 * 0.560058168908029$	$1.0e-05 * 0.938749225393165$
db(4)	$1.0e-05 * 0.240099669812643$	$1.0e-05 * 0.044093618514762$
db(6)	$1.0e-05 * 0.143785421302667$	$1.0e-05 * 0.006825976693603$
db(8)	$1.0e-05 * 0.087090953204694$	$1.0e-05 * 0.000450577659905$
db(10)	$1.0e-05 * 0.560058168908010$	$1.0e-05 * 0.000450577659899$

Fonte: Autor(2017)

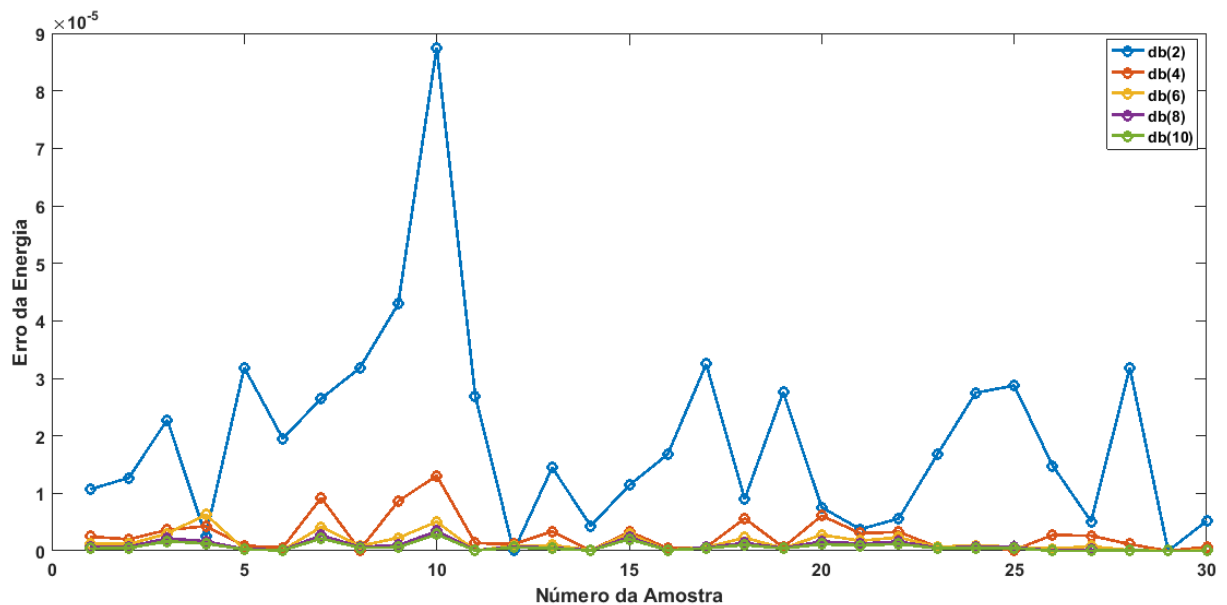


Figura 10 – Diferença entre as energias de cada amostra para os sinais de ECG originais e os coeficientes de aproximação de primeiro nível de resolução de cada variante da família Daubechies adotada neste trabalho

Fonte: Autor(2017)

3.3 DISCUSSÕES

As Tabelas 1 e 2 evidenciam que a variante db(10) apresentou os melhores resultados, pois obteve os valores de média e de desvio padrão das energias calculadas

para seus coeficientes de aproximação mais próximos dos valores de média e de desvio padrão das energias levantadas para cada uma das 30 amostras consideradas. No caso, o desempenho eficaz dessa variante mostrou-se também na Figura 10, uma vez que, para cada amostra isolada, a energia dos coeficientes levantados com a $db(10)$ foi a que obteve a menor diferença em relação a energia calculada dos sinais originais de ECG extraídos do banco de dados Moody (2001) *Arrhythmia Database* do Goldberger (2000).

Outro aspecto interessante que também pode ser constatado nos resultados descritos consiste no fato do aumento da ordem dos filtros utilizados no cálculo da transformada *Wavelet* ter ocasionado um crescimento na precisão dos resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 e na Figura 10. Todavia, vale ressaltar que, conforme apresentado na Tabela 1, o aumento desta precisão pode ser verificado apenas a partir da quinta casa decimal dos valores normalizados de média e de desvio padrão. Nesse ponto, tal resultado é interessante, uma vez que, o aumento da ordem dos filtros ocasiona também um crescimento em relação ao custo computacional exigido para calcular-se a transformada *Wavelet* (ARRAIS JUNIOR, 2016). Sendo assim, dependendo da necessidade de precisão, pode-se considerar o uso de uma variante da família Daubechies de ordem mais baixa, uma vez que, os resultados da $db(2)$, na prática, foram bastante similares ao da $db(10)$.

4 CONCLUSÃO

O Eletrocardiograma é muito utilizado pelos profissionais da área de saúde na detecção de patologias cardíacas, fato este que tem motivado um crescimento nos últimos anos na quantidade de pesquisas voltadas a análise computacional dos sinais coletados por meio desse exame. Nesse ponto, tendo em vista que a grande maioria dessas pesquisas tem utilizado transformadas *Wavelets*, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise de desempenho do uso dessas transformadas aplicadas ao processamento e análise de sinais de ECG, quando o cálculo destas é realizado mediante o uso de variantes da família Daubechies (db(2), db(4), db(6), db(8) e db(10)).

Os resultados levantados constataram que o aumento na ordem dos filtros utilizados proporcionou um crescimento da precisão dos resultados obtidos. Além disso, nesse estudo, ficou evidenciado também que o crescimento dessa precisão não foi tão significativo (os resultados de média e desvio padrão das energias normalizadas variaram apenas a partir da quinta casa decimal), o que, dependendo da aplicação, pode viabilizar o uso de variantes de ordem mais baixa da família Daubechies, uma vez que estas possuem um custo computacional menor (ARRAIS JUNIOR, 2016).

4.1 TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade deste trabalho, pode-se repetir as análises realizadas para outras possíveis famílias (Coiflet, Symlets, entre outras) que também podem ser utilizadas para o cálculo das transformadas *Wavelets*.

Tendo em vista que o presente trabalho avaliou apenas a precisão dos resultados proporcionados pelas variantes da família Daubechies, outra possível análise em perspectiva consiste na repetição dos experimentos efetuados no intuito de estimar o custo computacional (tempo de processamento gasto, quantidade de memória necessária, etc.) que a db(2), db(4), db(6), db(8) e db(10) precisam para calcularem os coeficientes de aproximação para cada amostra escolhida do banco de dados *MIT-BIH Arrhythmia Database*. Nesse sentido, tal análise também poderia ser estendida para as outras famílias da transformada *Wavelet*.

REFERÊNCIAS

- ARRAIS JUNIOR, Ernano . **Sistema de Análise de Sinal Cardíaco para Aplicação em Telecardiologia**. Tese (Tese doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte(UFRN), 2016.
- CAMPITELLI, MARCELO ADRIÁN. Compressão de sinais ecg utilizando dwf com quantização não-linear e por sub-bandas. 2015.
- CIPRIANO, Vinícius de Souza. **Classificação de macha humana via transformada Wavelet usando smartphones**. 2014. Monografia (Bacharel em Engenharia de Computação).
- DINIZ P. S. R. SILVA, Eduardo A. B. da. Netto Sergio L. **Processamento Digital de Sinais: Projeto e Análise de Sistemas**. 2. ed. [S.l.: s.n.], 2014.
- E., GOLDBERGER. The avl, avr, and avf leads: A simplification of standard lead electrocardiography. **American Heart Journal**, v. 24, n. 3, p. 378–396, 1942. ISSN 0002-8703. Disponível em: Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002870342908214>>.
- EINTHOVEN, W. **Weiteres über das elektrokardiogramm**. **Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere**. [S.l.: s.n.], 2007. v. 122. 517–584 p.
- FARIA, R. R. A. **Wavelets e as artes multirresolucionárias**. 1997. Disponível em: Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/~regis/wlets.html>>.
- GOLDBERGER, AL. et al. **PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals**. 2000. Disponível em: Disponível em: <<http://circ.ahajournals.org/content/101/23/e215.full>>.
- GURGEL, Valciano Camilo. **Aplicação de técnicas Wavelets em análise de séries temporais para detecção de correlações**. Dissertação (Monografia) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido(UFERSA), 2013.
- GUTIERREZ, Carlos Enrique. **Eliminação do ruído por encolhimento de wavelets: uma aplicação à série de preço spot de energia elétrica do Brasil**. Tese (Dissertação mestrado) — PUC- Departamento de Engenharia Elétrica, 2002.
- GUYTON, John E. Hall Arthur C. **Tratato de fisiologia médica**. Elsevier. [S.l.: s.n.], 2006. (11). ISBN 978-85-352-1641-7.
- MARTINEZ, J. et al. A wavelet-based ecg delineator: evaluation on standard databases. b. **Biomedical Engineering, IEEE Transactions on**, v. 42, n. 4, p. 570–581, 2004. ISSN 0018-9294.
- MATHWORKS. **MATLAB**. 2014. Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html?s_tid=hp_ff_p_matlab>.

MOODY, GB. Mark RG. **The impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database**. 2001. Disponível em: Disponível em: <<http://www.physionet.org/physiobank/database/mitdb>>.

OLIVEIRA, Henrique Moreira. **Descontaminação de sinais de eletrocardiograma utilizando wavelets**. Dissertação (Monografia) — UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE, 2007.

OMS. **Organização Mundial de Saúde. As principais causas de morte**. 2014. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/#>>.

QUILLFELDT, J.A. **ORIGEM DOS POTENCIAIS ELÉTRICOS DAS CÉLULAS NERVOSAS**. Departamento de biofísica, urg. [S.l.: s.n.], 2005.

SAÚDE. M. da. **Doenças cardiovasculares causam quase 30 Países**. 2014. Disponível em: Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/saude/2011/09/doencas-cardiovasculares-causam-quase-30-das-mortes-no-pais>>.

SOARES, Luciana Reginaldo. **Projeto de novos sistemas-wavelet com aplicações na análise de sinais do sistema elétrico**. Tese (doutorado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

TOOLBOX. **Wavelet**. 2017. Disponível em: Disponível em: <<http://www.mathworks.com/products/wavelet/examples.html?file=/products/demos/shipping/wavelet/wcoherdemo.html>>.

WALLER, AD. A demonstration on man of electromotive changes accompanying the heart's beat. v. 8, n. 5, p. 229–234, 1887.

WILSON, F. N. et al. The precordial electrocardiogram. **American Heart Journal**, v. 27, n. 1, p. 19–85, 1944. ISSN 0002-8703. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000287034290293X>>.

ZHENG C.; TAI, C.; LI.; Detection of ecg charactesrist points using wavelet transforms. **Biomedical Engineering, IEEE Transactions on**, v. 42, n. 1, p. 21–28, 1995. ISSN 0018-9294.