

Estimação do Tempo de Trânsito Ultrassônico Baseado no Método de Detecção de Limiar e Na Transformada Wavelet

José H. B. da Silva* Lucas D. de Oliveira* Juan M. M. Villanueva*

* Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, PB, e-mail: (jose.dasilva, lucasd.oliveira, jmauricio)@cear.ufpb.br.

Abstract: The measurement of wind speed is a key issue for the optimization of energy generation in wind farms. Currently, there are numerous ways to perform its estimation, however, the usual mechanical anemometers are rudimentary and have a considerable margin of error due to friction between parts and the inertia of the system. In this way, it is observed in the current scenario a greater trend towards the use of ultrasonic anemometers, which are based on the calculation of the time of flight of the ultrasonic wave, a variable that consists of the time interval required for a wave emitted from a transducer ultrasonic transmitter to reach a receiving transducer. Thus, one of the techniques to estimate the time of flight of the ultrasonic wave is Threshold Detection, however, this method is profoundly affected by noisy signals. In this paper, in order to make this method more robust, an application of the Wavelet Transform integrated to the Threshold Detection method is presented.

Resumo: A medição da velocidade do vento é um tema chave para a otimização da geração energética em usinas eólicas. Atualmente, inúmeras são as formas de realizar sua estimação, no entanto, os anemômetros mecânicos usuais são rudimentares e apresentam uma margem de erro considerável devido ao atrito entre peças e a inércia do sistema. Dessa forma, observa-se no cenário atual, uma maior tendência para o uso de anemômetros ultrassônicos, os quais se baseiam no cálculo do tempo de voo da onda ultrassônica, grandeza que consiste no intervalo de tempo necessário para que uma onda emitida de um transdutor ultrassônico emissor alcance um transdutor receptor. Sendo assim, uma das técnicas para estimar o tempo de voo da onda ultrassônica é a Detecção de Limiar, porém, esse método é profundamente afetado por sinais ruidosos. Nesse artigo, com objetivo de tornar esse método mais robusto, uma aplicação da Transformada Wavelet integrada ao método de Detecção de Limiar é apresentado.

Keywords: Wavelet Transform; *ToF*; Threshold Detection; Ultrasonics Transducers; Wind Speed.

Palavras-chaves: Transformada Wavelet; *ToF*; Detecção do Limiar; transdutores ultrassônicos; velocidade do vento.

1. INTRODUÇÃO

De forma geral, o uso excessivo das fontes não renováveis para geração de energia elétrica está causando fortes impactos no ciclo natural e levando a escassez dessas fontes. Com isso, as fontes renováveis como a energia solar e energia eólica estão ganhando espaço no mundo. A energia eólica, por ser segura, limpa e capaz de fornecer uma grande quantidade de energia, demonstra ser um ótimo potencial, Yadav et al. (2017). No entanto, seu aproveitamento deve ser maximizado, pois de acordo com a Global Wind Report 2021, a energia eólica gerou 93GW, mas deve gerar 180GW por ano para evitar os impactos das alterações climáticas, Joyce Lee (2021).

Um parâmetro que está diretamente ligado a energia eólica, além de estar presente em diversas áreas de pesquisas, é a velocidade do vento, cuja densidade de energia eólica é proporcional ao cubo desse parâmetro (Sharma et al.

2017). Por essa grande dependência, pequenos erros na estimação da velocidade do vento podem resultar em grandes perdas para sistemas de geração de energia elétrica. No entanto, para evitar ocorrências desse tipo, técnicas precisas foram desenvolvidas para calcular essa grandeza com o manuseio de aparelhos capazes de medir a velocidade de fluidos conhecidos, como os anemômetros.

Nesse cenário, os anemômetros baseados em transdutores ultrassônicos são bastantes utilizados por terem uma melhor precisão. Diferentemente dos anemômetros usuais, como os de copos, os transdutores ultrassônicos não apresentam perdas devido a inércia, com isso, representam boas ferramentas para estimação do tempo de voo ultrassônico (time of flight, *ToF*) e, por conseguinte, a velocidade do vento. Seu princípio de funcionamento se baseia na configuração de dois transdutores, em que um será o transmissor e o outro o receptor. Dessa maneira, a onda transmitida terá um atraso de deslocamento no espaço

influenciado pela velocidade do vento. Assim, o método consiste em estimar o tempo de vôo entre a transmissão e a recepção do sinal, o ToF , e a partir disso, a velocidade do vento pode ser determinada (Lihua and Dawei, 2014).

Existem diversos métodos para estimação do ToF , indo desde métodos computacionais, como o Filtro Kalman, até métodos mais comuns como a Detecção do Limiar e a Diferença de Fase. No entanto, o ruído inerente ao sinal pode causar medições imprecisas, portanto, devem ser aplicados em paralelo com uma ferramenta que os tornem imunes ao ruído. No caso da Detecção do Limiar, pode-se conseguir uma maior robustez com o uso da Transformada Wavelet, pois essa transformada permite a remoção de ruído quando aplicada a um sinal.

Neste trabalho, tem-se como objetivo o desenvolvimento de um sistema de medição do ToF baseado no método da Detecção do Limiar integrado a Transformada Wavelet. Entre as contribuições, pretende-se que a aplicação da Transformada Wavelet realize a filtragem do ruído (*denoising*), permitindo, portanto, a aplicação da técnica de Detecção do Limiar. Nesse sentido, é possível atingir uma melhora significativa na estimação do ToF , o que resulta em uma medição da velocidade do vento mais precisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será abordada uma breve descrição dos temas essenciais para o desenvolvimento desse trabalho.

2.1 Transdutores Ultrassônicos

Transdutores ultrassônicos têm importantes aplicações científicas e industriais na medição de velocidade de fluidos, particularmente na velocidade do vento, Villanueva et al. (2009). Além de representar uma solução de baixo custo, o uso dos dispositivos ultrassônicos permite o desenvolvimento de estudos por meios de simulação possibilitando, portanto, a validação das teorias estudadas.

Os transdutores ultrassônicos trabalham emitindo e recebendo ondas ultrassônicas que viajam no meio inserido, Sharma et al. (2017). Sendo assim, a onda enviada possui parâmetros como frequência e amplitude, programados por meio de um microcontrolador. Levando em consideração que as ondas ultrassônicas sofrem alterações com a variação da temperatura, as práticas para mensurar o tempo de trânsito, como o método de Detecção do Limiar, diferença de fase e métodos computacionais como a o Filtro Kalman, podem ser usadas.

Na Fig.1 é ilustrado uma representação de um arranjo de transdutores ultrassônicos para determinação da velocidade do vento baseado na estimativa do ToF .

2.2 Detecção de Limiar (TH)

Considerando o arranjo mostrado na Fig. 1, a velocidade do vento ϑ (m/s) é determinada a partir da equação 1.

$$\vartheta = \frac{1}{\cos(\theta)} \left(\frac{L}{t_{AB}} - C \right) \quad (1)$$

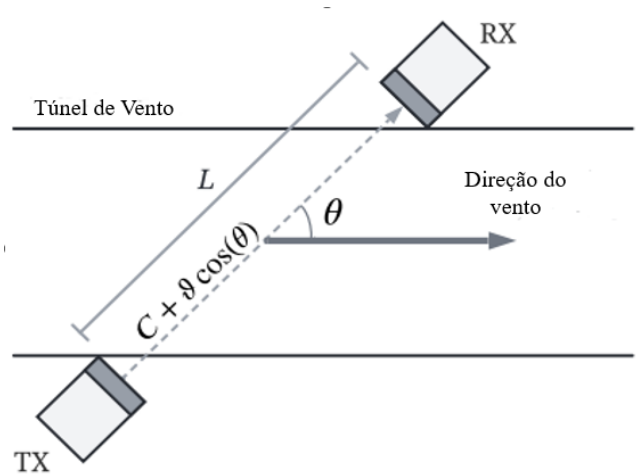


Figura 1. Configuração de transdutores ultrassônicos para estimação da velocidade do vento.

em que: t_{AB} (s) representa o tempo de trânsito, L (m) a distância entre os transdutores e C a velocidade do som (m/s).

No entanto, devido a dissipação de energia ultrassônica no ar, as ondas do sinal recebido sofrem um efeito conhecido como atenuação (Jiang et al. 2011). Como ilustrado na Fig. 2, esse efeito causa uma atenuação na amplitude que diminui ao passar do tempo. Portanto, estimar o ToF t_{AB} requer o uso de técnicas adequadas como o método da Detecção do Limiar.

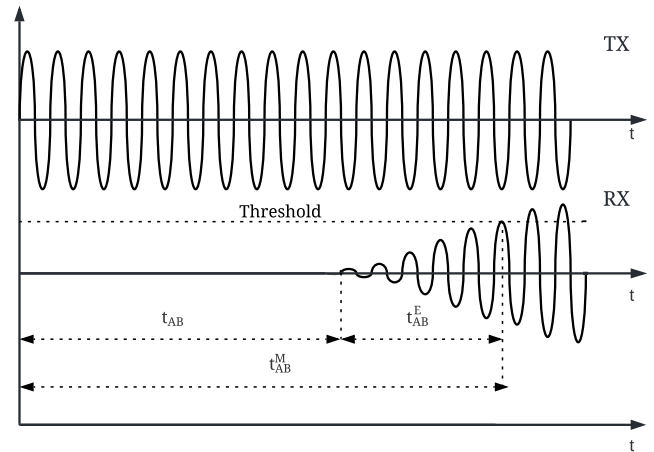


Figura 2. Representação do ToF a partir da Detecção do Limiar.

Esse método consiste em determinar o tempo necessário de uma onda transmitida ser recebida a partir de uma tensão de limiar. No entanto, como mostrado na Fig. 2, o ToF tem duas componentes: o tempo de trânsito esperado t_{AB} e o tempo de atraso eletrônico t_{AB}^E . O ToF pode ser expressado da seguinte maneira (Villanueva (2009)):

$$t_{AB} = t_{AB}^M - t_{AB}^E \quad (2)$$

em que: t_{AB}^M representa o tempo medido com a técnica de detecção do limiar.

Com essa nova representação para o ToF , a Eq. (1) pode ser reescrita como (Yadav et al. (2017)):

$$\vartheta = \frac{1}{\cos(\theta)} \left(\frac{L}{t_{AB}^M - t_{AB}^E} - C \right) \quad (3)$$

Ademais, a velocidade do som no ar depende principalmente da temperatura do ambiente e pode ser determinada pela seguinte expressão, onde T_k representa a temperatura em Kelvin (Villanueva et al. (2009)):

$$C \approx 20.074\sqrt{T_K} \quad (4)$$

É importante destacar que o método da Detecção de Limiar é sensível a sinais ruidosos, pois, devido ao ruído, a tensão de limiar pode ser detectada antes do comum retornando de forma errônea o ToF ou poderia ser setado um limiar de detecção mais elevado que elevaria também o tempo de atraso eletrônico. Com isso, este método deve ser usado em conjunto com uma ferramenta capaz de superar os efeitos do ruído.

2.3 Transformada Wavelet

A transformada Wavelet (TW) é uma função que permite a análise de sinais no domínio do tempo e da frequência. Ao contrário da transformada de Fourier, que representa o sinal transformado em diferentes frequências, a Transformada Wavelet representa o sinal transformado em diversos sinais deslocados e escalonados conforme a família Wavelet aplicada. Assim, as Transformadas Wavelets discretas (DWT) tem os fatores de deslocamento e escalamento em potência de 2, diferentemente das contínuas que tem esses parâmetros em forma contínua. Com essa característica, a DWT pode operar tanto com sinais contínuos com coeficientes espaçados por um período de amostragem quanto com sinais discretos. Dessa forma, a transformada para sinais discretos e tempo contínuo é representada matematicamente por (Misiti et al. (1996)):

$$C(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (5)$$

em que:

$$a = 2^j, b = k2^j, (j, k) \in \mathbb{Z}^2 \quad (6)$$

Os parâmetros a e b são o fator de escalamento e o fator de deslocamento respectivamente.

Quando se trata de análises de sinais com DWT , deve-se observar a influência das frequências nos resultados obtidos: na maioria dos sinais, os dados de baixa frequência correspondem a parte importante do sinal e as componentes de alta frequência representam apenas detalhes do sinal. Com isso, surge os conceitos de aproximação e detalhe que são bastante usadas em Transformadas Wavelets. Os coeficientes de aproximação são de alta escala e baixa frequência, já os coeficientes de detalhe são de baixa escala e alta frequência. É importante notar que a definição de escala é inversamente proporcional a frequência. Além desses conceitos, existe também, o conceito de nível de decomposição que representa a quantidade de vezes que

o sinal será decomposto, a cada decomposição será apresentado um sinal de aproximação A_j e um de detalhe D_j , Misiti et al. (1996) .

A decomposição de um sinal por DWT é realizada a partir de filtros passa-baixa (PB) e filtros passa-alta (PA). Nesta decomposição, os filtros PB permitem a passagem das frequências baixas retornando, portanto, os coeficientes de aproximação, já os filtros PA, totalmente oposto ao PB, retorna os coeficientes de detalhes (Misiti et al. (1996)):

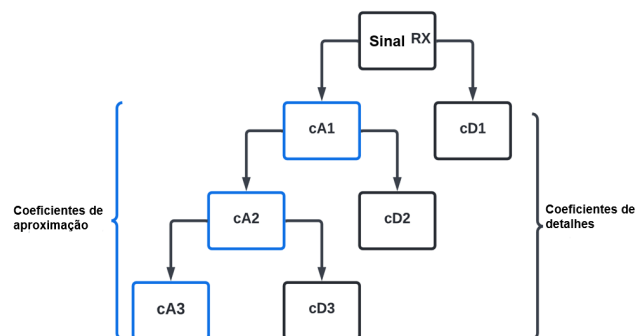


Figura 3. Decomposição em multiníveis.

O processo de decomposição em multiníveis é mostrado na Fig. 3, nesse caso, o sinal RX é decomposto em três níveis cA_j e cD_j . A cada nível decomposto, o ruído cD_j vai sendo retirado do sinal. É importante ressaltar que o processo é realizado por *downsampling*, ou seja, a cada nível decomposto o sinal tem seu tamanho ou vetor de dados reduzido pela metade (Misiti et al.1996).

De forma sucinta, a reconstrução do sinal com decomposição por *downsampling* requer a inserção de zeros na amostra em conjunto com o processo de filtragem. Já o processo de filtragem requer cuidado quanto a escolha dos filtros, pois sua escolha permite a formação do sistema chamado quadratura filtro-espelho. Este sistema anula os efeitos da *aliasing* causada pelo *downsampling*, Misiti et al. (1996).

Para um sistema de n -níveis de decomposição o processo de recuperação do sinal original é dado por:

$$S = A_n + D_n + \dots + D_1 \quad (7)$$

Uma característica da Transformada Wavelet é a existência de inúmeras famílias a qual cada se aplica a uma situação, ou seja, forma do sinal. Dentre as wavelets mais usadas estão: Haar Wavelet, Daubechies, Symlets, Coiflet, Biorthogonal e Morlet. Para escolher a família adequada para um problema específico, deve-se escolher a família que se assemelha ao sinal de entrada, Grimaldi (2006). Portanto, o melhor caminho pra escolher a wavelet é: usar diferentes wavelets mães e usar o mesmo sinal, posteriormente, testar cada wavelet mãe com o sinal e determinar o ToF . Por fim, é realizado uma comparação entre os resultados obtidos, Grimaldi (2006).

3. MÉTODO PROPOSTO

Na Fig. 4, se ilustra a metodologia proposta para a estimação do ToF baseado na aplicação da DWT . Neste

diagrama, são ilustrados os sinais TX e RX. Para o sinal recebido, é aplicado o *denoising* baseado na Transformada Wavelet. Após este processamento, é realizada a estimação do *ToF* por meio da aplicação da técnica de Detecção de Limiar. A seguir, serão descritas sucintamente as etapas dessa metodologia.

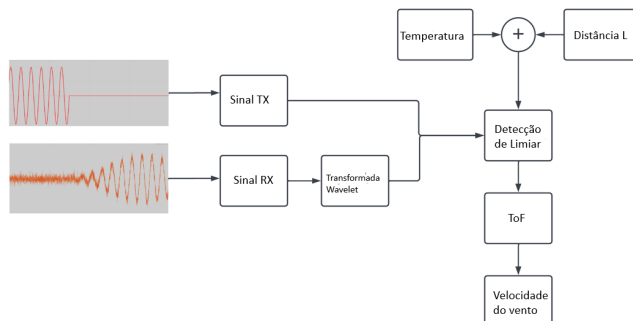


Figura 4. Método para estimação do *ToF* e Velocidade do vento.

3.1 Detecção de Limiar

Após o tratamento do sinal pela *DWT*, o método de detecção do limiar pode ser aplicado ao sinal RX. No entanto, para aplicar esse método é importante considerar os seguintes parâmetros:

- Distância: relaciona-se diretamente com o fenômeno da atenuação descrito acima e influencia, portanto, na determinação do *ToF*.
- Temperatura: essa grandeza interfere diretamente na velocidade de propagação da onda ultrassônica no ar livre.

3.2 *ToF* e Estimação da Velocidade do Vento

Por fim, com a aplicação da Detecção de Limiar e determinação do tempo de trânsito a partir do limiar, o *ToF* pode ser obtido usando a equação (2). Em seguida, a velocidade do vento também pode ser estimada usando a equação (3).

3.3 Descrição do cenário de simulação

O modelo ilustrado na Fig. 5 foi desenvolvido com a finalidade de simular o funcionamento de dois transdutores ultrassônicos sendo um definido como TX e o outro como RX, como ilustrado na configuração da Fig.1. O desenvolvimento desse modelo se deu a partir de ferramentas do MATLAB@Simulink. Para o modelo em questão, foram usados os seguintes blocos: *sine wave*, *pulse generator*, *dot product*, *filtro butter*, *variable time delay*, *constant*, *random number* e o bloco *sum*.

- Sine Wave: este bloco simula o sinal sinusoidal emitido pelo transmissor TX e está configurado com 1V de amplitude e frequência de 40 kHz;
- Pulse Generator: representa um gerador de pulsos e em conjunto com o Dot Product, irá pulsar o sinal emitido. Seus parâmetros são: 1V de amplitude e período de 3 ms;

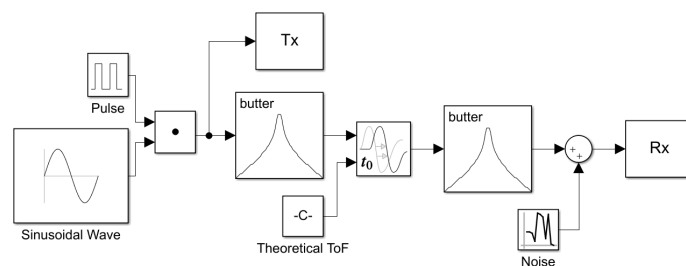


Figura 5. Modelo de um sistema para medição da velocidade do vento usando transdutores ultrassônicos.

- Filtro Butter: este é um filtro amplamente usado em sistemas eletrônicos e caracteriza-se por ter uma resposta em frequência plana, neste caso é um filtro passa-faixa com frequência central de 40 kHz e uma banda passante entre 37 kHz e 43 kHz. Como ilustrado na Fig.2, o filtro modela os transdutores ultrassônicos de transmissão e recepção;
- Variable Time Delay: bloco que causa um atraso no sinal e representa o *ToF*. Seu parâmetro de atraso é o bloco Constant configurado para 841.4 μ s. Esse valor será explicado mais adiante;
- Random Number: este bloco permite inserir números aleatórios no sinal representando, portanto, o ruído eletrônico e o ruído devido ao meio externo.

Nesse sentido, de forma sucinta, no modelo será transmitido sinais pulsados de 40 kHz e recebidos com a adição de ruído e do *ToF* adicionado em um tempo de simulação de 1.5 ms.

4. RESULTADOS

Os dados foram obtidos utilizando a ferramenta computacional MATLAB@Simulink e um estudo de casos foi levantado para analisar o desempenho da Transformada Wavelet aplicada.

- Estudo de Caso I: refere-se ao sinal livre de ruído para comparação com os demais casos;
- Estudo de Caso II: sinal com SNR de 17.958 dB;
- Estudo de Caso III: sinal com SNR de 7.958 dB ;
- Estudo de Caso IV: sinal com SNR de 5.528 dB.

4.1 Condições Teóricas

Além da caracterização do sinal realizado na seção 2, é importante condicionar os parâmetros do cenário, como a distância L , o ângulo entre os transdutores θ , temperatura do ambiente t e a velocidade do vento ϑ . Com isso, esses parâmetros foram configurados com os seguintes valores:

- L : 0,3m;
- θ : 0°;
- t : 25°C;
- ϑ : 10 m/s.

Com base nesses dados, e utilizando as equações (3) e (4), o *ToF* teórico t_{AB}^t foi determinado com valor de 841,4 μ s.

Além do mais, é indubitável ressaltar que os ruídos simulados são conhecidos como ruído branco e representados por uma distribuição gaussiana de média zero. A potência de cada ruído e a SNR está representado na Tabela 1.

Tabela 1. SNR para casos 2,3 e 4.

Ruído	Potência (dB)	SNR (dB)
1	-20.969	17.958
2	-10.960	7.958
3	-8.539	5.528

4.2 Resultados da Detecção do Limiar sem a TW

Inicialmente, foi simulado o sinal sem a presença de ruídos e com tensão de limiar de 0,7 volt. Lembrando que na simulação foi adicionado um ToF de 841.4 μs e, como a simulação sem ruído é ideal, é possível calcular o tempo de atraso eletrônico. A Fig. 6 mostra o resultado dessa simulação.

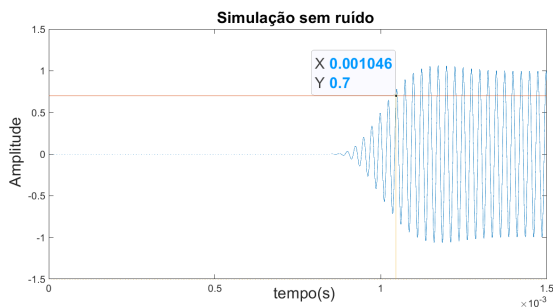


Figura 6. Sinal RX sem ruído.

Com o tempo de limiar encontrado e usando a equação (2) o t_{AB}^E foi estimado com valor de 204.6 μs .

Posteriormente, o sinal foi simulado com o ruído 1, 2 e 3, como ilustrado nas Fig. 7, 8 e 9 respectivamente.

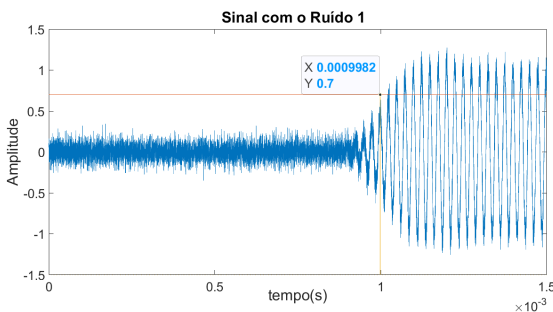


Figura 7. Sinal RX com ruído de -20.969dB.

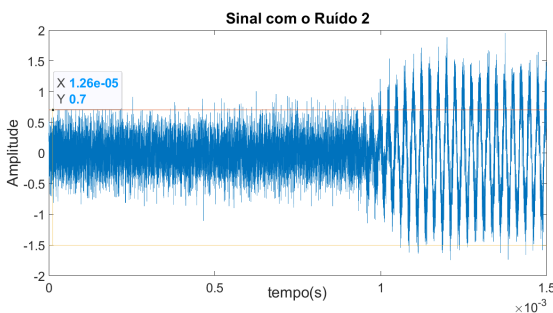


Figura 8. Sinal RX com Ruído de -10,960dB.

Com a determinação do t_{AB}^M , o t_{AB} pode ser calculado usando a Eq. (2). A Tabela 2 mostra de forma detalhada as estatísticas para o ToF com base nos gráficos acima.

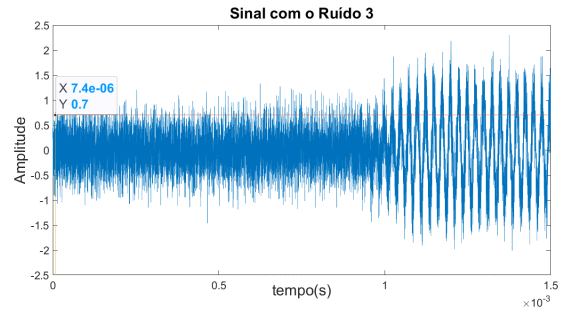


Figura 9. Sinal RX com Ruído de -8,539dB.

Tabela 2. Estatísticas dos casos 2,3 e 4.

Ruído	$t_{AB}^M (\mu s)$	$t_{AB} (\mu s)$	$DP t_{AB} (\mu s)$	$\vartheta_e (m/s)$
1	998.20	793.60	23.90	31.49
2	12.60	-192.00	516.70	-1909.03
3	7.46	-197.14	519.30	-1868,29

Com base nos dados apresentados na tabela, em que $DP t_{AB}$ e ϑ_e representam o desvio padrão entre o ToF estimado e o ToF teórico e a velocidade estimada respectivamente, o método não teve um resultado satisfatório visto que, para o primeiro caso, já é possível observar um grande desvio.

4.3 Resultados da Detecção do Limiar com a TW

Com o objetivo de remover o ruído, foi aplicado a Transformada Wavelet no sinal com as mesmas variâncias de ruído. Essa aplicação segue a mesma sequência desde caso II ao caso IV.

Na Fig.10 é representado o processo de decomposição do sinal do caso II em 4 níveis na qual são mostrados: o sinal recebido, os coeficientes de detalhes d_1, d_2, d_3 e d_4 e os componentes de aproximação do último nível cA_4 , respectivamente.

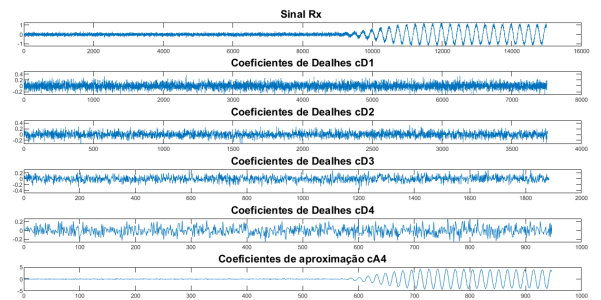


Figura 10. Representação dos coeficientes de detalhes e aproximação obtidos na decomposição do sinal para o ruído de potência -20.969 dB.

Observando a Fig.10, nota-se que o tamanho do vetor dos coeficientes de aproximação cA_4 , mostrado no eixo horizontal de cada coeficiente, é muito menor que o do sinal recebido, isso ocorre pelo processo de *downsampling* detalhado anteriormente. No entanto, pelo processo de reconstrução, o sinal recupera seu tamanho original. Em seguida, é aplicada a técnica de Detecção do Limiar, obtendo-se como resultado o sinal filtrado e o ToF estimado, como ilustrado na Fig. 11.

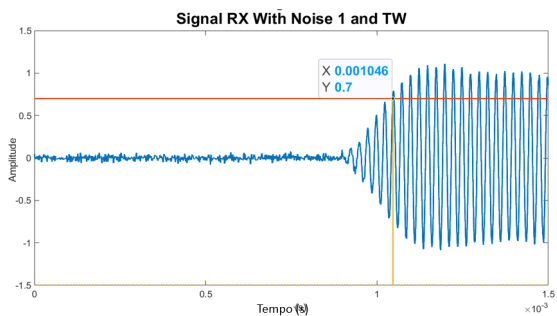


Figura 11. Sinal RX com ruído de -20.969 dB após aplicação da TW.

De forma similar, foi aplicado a Transformada Wavelet no sinal RX com os casos III e IV, obtendo-se, portanto, os coeficientes de aproximação como no caso anterior. Após a reconstrução do sinal, foi aplicado o método de detecção do limiar e encontrado o *ToF* estimado, como ilustrado nas Fig.12 e Fig.13.

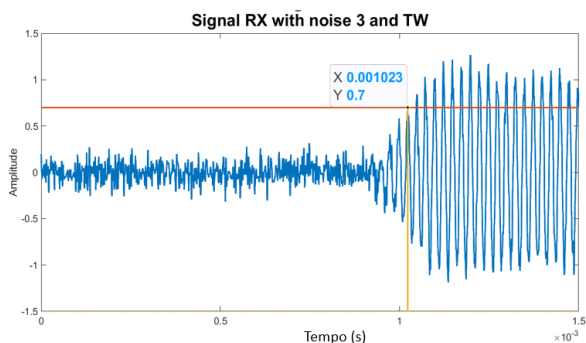


Figura 12. Sinal RX com ruído de -10.96 dB após aplicação da TW.

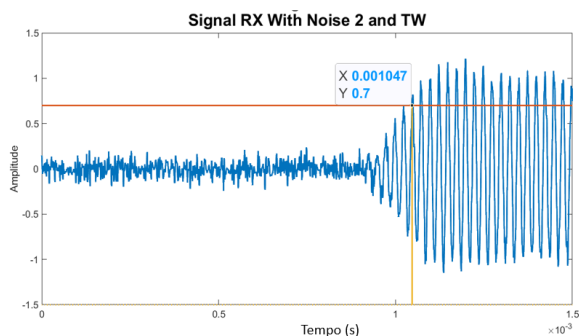


Figura 13. Sinal RX com ruído de -8.539 dB após aplicação da TW.

A Tabela 3 detalha o quão eficiente é o método de Detecção do Limiar baseado na Transformada Wavelet.

Tabela 3. Case Study IV

Ruído	$t_{AB}^M (\mu s)$	$t_{AB} (\mu s)$	DP	$t_{AB} (\mu s)$	$\vartheta_e (m/s)$
1	1046.00	841.4	0		10,01
2	1047.00	842.4	0.60		9,59
3	1023.00	818.4	11.40		20,03

5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que somente com o uso do método da Detecção do Limiar, o sistema já obtém erros consideráveis

para o primeiro caso de ruído simulado. Já para os outros dois casos, o erro é demasiado. Porém, com a aplicação da *DTW*, o sistema se tornou mais robusto e imune a grandes níveis de ruído, o que ratifica, portanto, a teoria detalhada anteriormente.

Observando os dados da Tabela III é visto, também, que a Transformada Wavelet, com os parâmetros definidos nesse artigo, limitou-se ao ruído de -10,960 dB, tornando-se ineficiente a partir do ruído de -8.539 dB. Entretanto, para trabalhos futuros, é possível estender essa aplicação para outras famílias Wavelet com outros parâmetros buscando melhorar o sistema e, além disso, fica como proposta a construção de um sistema físico para validar as simulações citadas e a teoria abordada.

Por fim, com essa pesquisa foi possível modelar um sistema de medição de velocidade do vento usando transdutores ultrassônicos e validar os efeitos positivos da Transformada Wavelet no método de Detecção de Limiar para a estimação do *ToF*.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao PIBIC-UFPB e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro para desenvolver essa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Grimaldi, D. (2006). Time-of-flight measurement of ultrasonic pulse echoes using wavelet networks. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 55(1), 5–13. doi:10.1109/TIM.2005.862021.
- Joyce Lee, F.Z. (2021). Global wind report 2021. [urlhttps://gwec.net/wp-content/uploads/2021/03/GWEC-Global-Wind-Report-2021.pdf](https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/03/GWEC-Global-Wind-Report-2021.pdf).
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., and Poggi, J.M. (1996). Wavelet toolbox. *The MathWorks Inc., Natick, MA*, 15, 21.
- Sharma, A., Saxena, B.K., and Rao, K.V.S. (2017). Comparison of wind speed, wind directions, and weibull parameters for sites having same wind power density. In *2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)*, 1–6. doi:10.1109/TAPENERGY.2017.8397346.
- Villanueva, J.M.M. (2009). Fusão de dados das técnicas de tempo de trânsito utilizando transdutores ultra-sônicos para medição da velocidade do vento.
- Villanueva, J.M.M., Catunda, S.Y.C., and Tanscheit, R. (2009). Maximum-likelihood data fusion of phase-difference and threshold-detection techniques for wind-speed measurement. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 58(7), 2189–2195. doi:10.1109/TIM.2009.2013666.
- Yadav, V.P., Sinha, A., and Khosla, A. (2017). Design and implementation of ultrasonic anemometer. In *2017 4th International Conference on Power, Control Embedded Systems (ICPCES)*, 1–6. doi:10.1109/ICPCES.2017.8117645.