

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ENGENHARIA ELÉTRICA

Jancer Destro
João Dallamuta
Marcelo Granza
(Organizadores)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Jancer Destro
João Dallamuta
Marcelo Granza
(Organizadores)

A produção do Conhecimento na Engenharia Elétrica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de
Oliveira Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P964	A produção do conhecimento na engenharia elétrica [recurso eletrônico] / Organizadores Jancer Destro, João Dallamuta, Marcelo Granza. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-365-1 DOI 10.22533/at.ed.651192905 1. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Destro, Jancer. II. Dallamuta, João. III. Granza, Marcelo. CDD 623.3
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná - Brasil

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX. Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricitista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

Neste livro temos uma diversidade de temas, níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos, científicos e humanos. Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura.

Jancer Destro
João Dallamuta
Marcelo Granza

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	
Frank Wesley Rodrigues Joel Adelaide Medeiros Kaique Rhuan de Azevedo Albuquerque Diego Henrique da Silva Cavalcanti Rafael Pereira de Medeiros Jean Torelli Cardoso Hugo Rojas Espinoza	
DOI 10.22533/at.ed.6511929051	
CAPÍTULO 2	13
AVALIAÇÃO ENERGÉTICA PREDIAL DO BLOCO I DO CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS DE MINAS	
Bruna Maria Pereira de Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.6511929052	
CAPÍTULO 3	30
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EM ESTABELECIMENTO DE ENSINO LOCALIZADO EM TERESINA-PI	
Cristiana de Sousa Leite Emerson Ribeiro Rodrigues Hericles Araújo Lima Marcus Vinicius Sampaio de Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.6511929053	
CAPÍTULO 4	40
TARIFA BINÔMIA PARA CONSUMIDORES DO GRUPO B: UMA PROPOSTA ADERENTE AO ATUAL ARCABOUÇO REGULATÓRIO BRASILEIRO	
Lorena Cardoso Borges dos Santos Cristiano Silva Silveira Rafael de Oliveira Gomes Carlos Cesar Barioni de Oliveira Denis Antonelli Jairo Eduardo de Barros Alvares	
DOI 10.22533/at.ed.6511929054	
CAPÍTULO 5	52
NOSTANDBY – ELIMINAÇÃO DO CONSUMO STAND BY EM APARELHOS ELETRÔNICOS	
Tiago Terto de Oliveira Marcony Esmeraldo de Melo Odailton Silva de Arruda Lucas Félix Magalhães Eveni Pereira Cosme	
DOI 10.22533/at.ed.6511929055	

CAPÍTULO 6	65
RESSARCIMENTO DE DANOS ELÉTRICOS CARIMBO DO TEMPO COMO FERRAMENTA PARA MITIGAÇÃO DO RISCO DE TRANSGRESSÃO DE PRAZOS REGULADOS	
Alex Calvo Vieira Neiva Beatriz Ferreira Silva Vicentin	
DOI 10.22533/at.ed.6511929056	
CAPÍTULO 7	72
PROJETO DE OUVIDORIA DA DISTRIBUIÇÃO DA EDP SÃO PAULO – ANÁLISE DE DEMANDA DE MAIOR IMPACTO	
Márcia Lúcia Lopes de Souza Jesus	
DOI 10.22533/at.ed.6511929057	
CAPÍTULO 8	80
SOOA – SISTEMÁTICA OTIMIZADA DE OPERAÇÃO DE ATIVOS	
Edcarlos Andrade Amorim Lorenzo Zandonade Carnielli Mikaelle Lucindo do Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.6511929058	
CAPÍTULO 9	89
SISTEMA GESTOR DE AJUSTES DE MEDIÇÕES DE FRONTEIRA – COPEL DISTRIBUIÇÃO	
Frank Toshioka	
DOI 10.22533/at.ed.6511929059	
CAPÍTULO 10	102
FERRAMENTA PARA AUXILIAR EQUIPE DE CAMPO NA LOCALIZAÇÃO DE ESTRUTURAS DE LINHAS DE ALTA TENSÃO	
Mariana Spadetto Leão Helion da Silva Porcari	
DOI 10.22533/at.ed.65119290510	
CAPÍTULO 11	111
APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA PRÉ-FABRICADA EM SUBESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO COMPACTAS DA ELEKTRO	
José Augusto Ferraz Gabriel Vinicius Caciatore de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.65119290511	
CAPÍTULO 12	119
EFICIÊNCIA DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO LIMITES AOS PESOS PARA DEA E REA	
Lorena Cardoso Borges dos Santos Rafael de Oliveira Gomes Luana Medeiros Marangon Lima Anderson Rodrigo de Queiroz Giulia Oliveira Santos Medeiros José Wanderley Marangon Lima	
DOI 10.22533/at.ed.65119290512	

CAPÍTULO 13	133
ANÁLISE E PROPAGAÇÃO DAS INCERTEZAS NA ESTIMAÇÃO DO TEMPO DE TRÂNSITO ULTRASSÔNICO BASEADO NO MÉTODO DE SIMULAÇÃO MONTE CARLO VISANDO A MEDIÇÃO DE VELOCIDADE DO VENTO	
Felipe Augusto Oliveira dos Santos Juan Moises Mauricio Villanueva	
DOI 10.22533/at.ed.65119290513	
CAPÍTULO 14	149
DIVERSIDADE E INCLUSÃO: GESTÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA NO AMBIENTE DO TRABALHO	
Ana Paula Pinheiro de Azambuja Amaral Ligia Regina Pauli Regina Maria Joppert Lopes Yvy Karla Bustamante Abbade	
DOI 10.22533/at.ed.65119290514	
CAPÍTULO 15	161
ROTAS INTELIGENTES - UTILIZAÇÃO DE GPS DE NAVEGAÇÃO PARA GEOLOCALIZAÇÃO DE ATIVOS E CONSUMIDORES DA ENERGISA A PARTIR DE PONTOS DE INTERESSE _POI_	
Cleyson Cloves do Carmo	
DOI 10.22533/at.ed.65119290515	
CAPÍTULO 16	164
ENGAJAMENTO DE ESTUDANTES DE ESCOLAS PÚBLICAS NA ÁREA DAS GRANDES ENGENHARIAS: UMA PROPOSTA DE MOTIVAÇÃO E REDUÇÃO DA DISPARIDADE NA PRESENÇA DE ESTUDANTES DE ESCOLAS PÚBLICAS NO ENSINO SUPERIOR	
Anyelle Keila F. de Queiroz Rayanna Maria de O. Francklim Raimundo Carlos S. Freire	
DOI 10.22533/at.ed.65119290516	
SOBRE OS ORGANIZADORES	174

ANÁLISE E PROPAGAÇÃO DAS INCERTEZAS NA ESTIMAÇÃO DO TEMPO DE TRÂNSITO ULTRASSÔNICO BASEADO NO MÉTODO DE SIMULAÇÃO MONTE CARLO VISANDO A MEDIÇÃO DE VELOCIDADE DO VENTO

Felipe Augusto Oliveira dos Santos

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Departamento de Engenharia Elétrica
João Pessoa – PB

Juan Moises Mauricio Villanueva

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Departamento de Engenharia Elétrica
João Pessoa – PB

RESUMO: Com o objetivo de avaliar as incertezas no processo de medição da velocidade do vento por meio do método de simulação de Monte Carlo (SMC) cujo princípio de medição é baseado nos transdutores ultrassônicos, inicialmente foi montado um modelo computacional para a estimação do tempo de trânsito ultrassônico, que é definido como tempo medido desde a transmissão de uma onda ultrassônica no transdutor emissor até a detecção no transdutor receptor, dado uma configuração com pares de transdutores, sendo um receptor e um emissor. Este tempo de trânsito foi utilizado como um valor estimado para a medição da velocidade do vento e foi medido utilizando as técnicas de detecção de limiar e diferença de fase. As técnicas de medição do tempo de trânsito são frequentemente implementadas em sistemas

embarcados que combinam elementos de hardware e software para a implementação de sistemas sofisticados de medição. A estimação do tempo de trânsito ultrassônico encontra-se influenciada por fontes de ruídos de diferentes naturezas, como exemplo: elétrico, térmico, ruídos aditivos e multiplicativos e etc. Sendo assim, teve-se como finalidade avaliar e mensurar as incertezas quando consideradas diferentes tipos de distribuições do ruído aditivo presente no meio de medição. Resultados de simulação a partir da construção do modelo computacional do sistema par ultrassônico transmissor/receptor usada para a medição da velocidade do vento serão apresentados. Assim como os resultados da avaliação de incertezas utilizando o método de simulação Monte Carlo considerando as influências do ruído do tipo Gaussiano, Triangular e Uniforme.

PALAVRAS-CHAVE: Transdutores Ultrassônicos. Simulação Monte Carlo. Propagação de Incertezas. Tempo de Trânsito Ultrassônico.

ABSTRACT: With the objective of evaluating the uncertainties in the wind speed measurement process using the Monte Carlo simulation method (SMC) whose measurement principle is based on ultrasonic transducers, a computational model was initially set up to estimate the transit time which is defined as time

measured from the transmission of an ultrasonic wave in the emitter transducer until detection in the receiving transducer, given a configuration with pairs of transducers, being a receiver and a transmitter. This transit time was used as an estimated value for wind speed measurement and was measured using threshold and phase difference detection techniques. Transient time measurement techniques are often implemented in embedded systems that combine hardware and software elements for the implementation of sophisticated measurement systems. The estimation of the ultrasonic transit time is influenced by noise sources of different natures, such as electric, thermal, additive and multiplicative noise, etc. Thus, the purpose was to evaluate and measure the uncertainties when considering different types of distributions of additive noise present in the measurement medium. Simulation results from the construction of the computational model of the ultrasonic pair transmitter/receiver system used for wind speed measurement will be presented. As well as the results of the uncertainty evaluation using the Monte Carlo simulation method considering the influence of Gaussian, Triangular and Uniform noise.

KEYWORDS: Ultrasonic Transducers. Simulation of Monte Carlo. Propagation of Uncertainties. Ultrasonic Time of Flight.

1 | INTRODUÇÃO

A medição de velocidade do vento possui inúmeras aplicações, principalmente na área de energia eólica, onde realiza-se esta estimativa para assim, determinar o potencial eólico e os melhores locais para a instalação das turbinas. Por intermédio de instrumentos de medição chamados de anemômetros, pode-se obter a estimativa da velocidade do vento e assim aplicar ao setor de energia. Dentre os anemômetros, que podem ser baseados em corpos canônicos, termo resistivos e ultrassônicos, os ultrassônicos apresentam a melhor alternativa devido a sua maior exatidão, tempo de resposta consideravelmente menor que os demais e manutenção mínima em operação.

Anemômetros de corpos canônicos mensuram a velocidade horizontal do vento, que é essencial para o cálculo das previsões de energia. Eles são o tipo padrão de anemômetros, robustos e resistentes a ventos oblíquos. Anemômetros termo resistivos são compostos por dois sensores que medem além da temperatura, à umidade do ar. Ambos são frequentemente instalados em conjunto, para que os custos adicionais sejam minimizados. Apesar da determinação da umidade do ar não tem qualquer influência no cálculo dos lucros, o conhecimento deste valor é útil quando é necessário avaliar o risco de formação de gelo em um determinado local. O sensor de temperatura deve ser instalado a uma altura não inferior a 10 m, para manter uma distância suficiente do calor dissipado pela terra. Os anemômetros ultrassônicos medem a velocidade e a direção do vento em uma, duas ou três dimensões, com uma qualidade de dados superior (resolução e frequência de medição). No entanto, estes sistemas requerem

a implementação de algoritmos baseados em técnicas de processamento de sinais, aumentando a complexidade do projeto. Neste trabalho de pesquisa, será abordado o estudo e análise dos anemômetros ultrassônicos para medição da velocidade do vento.

O princípio da medição da velocidade do vento utilizando sensores ultrassônicos baseia-se na estimação do tempo de trânsito, que é o tempo de viagem de uma onda ultrassônica, medido como o tempo decorrido a partir da emissão da onda até a detecção (considerando um par de sensores ultrassônicos transmissor-receptor). A estimativa do tempo de trânsito denominado ToF (Time-of-Flight) se torna complexo quando consideramos a influência de ruídos do meio que podem ser providas de diversas naturezas, tais como: ruídos elétricos, ruídos aditivos e multiplicativos, ruídos térmicos, etc. Assim, a influência do ruído na estimação do ToF afeta diretamente a exatidão da estimação da velocidade do vento. Dessa forma, no projeto de sistemas de medição onde se utilizam tais dispositivos, torna-se relevante a análise e propagação das incertezas no processo de medição e estimativa do ToF.

A incerteza de medição pode ser avaliada e expressa em diversas maneiras; duas delas são analisadas pelo Guia de Avaliação e Expressão de Incertezas em Sistemas de Medição (GUM) e o Método de Simulação de Monte Carlo (MSC). GUM é utilizada para determinar a expressão matemática das incertezas no processo de medição. Entretanto, a mesma estabelece algumas limitações onde as incertezas devem advir de fontes aleatórias e de modelos conhecidos de distribuição. Além do mais, as incertezas sistemáticas devem ser eliminadas ou nem mesmo existir. Por outro lado, o método de Simulação de Monte Carlo nos permite construir uma função densidade de probabilidade (FDP) adquirindo os parâmetros estatísticos das variáveis estudadas. Adicionalmente, essas mesmas variáveis podem ter diferentes distribuições e não necessariamente apenas distribuições conhecidas. Com isso, torna-se possível realizar uma análise das incertezas com maior aprofundamento das influências das incertezas considerando-se diferentes tipos de distribuições como gaussiana, triangular e uniforme.

Dado este cenário, este trabalho de pesquisa tem o objetivo de construir um modelo probabilístico associado com a estimação do ToF ultrassônico considerando tipos distintos de ruídos presentes no meio de medição, com distribuição conhecida, sendo elas: Gaussiana, Uniforme e Triangular. Para este propósito, o método de Simulação de Monte Carlo será utilizado, atuando sob um modelo computacional construído para modelar o processo de medição da velocidade do vento usando transdutores ultrassônicos. Com tal modelo em mãos, a continuidade deste trabalho de pesquisa concentra-se na finalidade de analisar a estimação do tempo de trânsito ultrassônico configurando-se um par de transdutores transmissor-receptor.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Transdutores Ultrassônicos

Alguns materiais possuem a característica de gerar energia elétrica quando submetidos a um estresse mecânico, tal efeito é chamado de efeito piezoelétrico. Piezoelectricidade é a capacidade de materiais (cristais) produzirem tensão elétrica através de uma pressão ou compressão mecânica. A palavra vem do grego e significa eletricidade por pressão. Basicamente, a geração de eletricidade por materiais piezoelétricos é devido à compressão sobre os mesmos. O efeito é descrito como a interação eletromecânica entre a força mecânica e o estado elétrico em diversos tipos de materiais como polímeros e cerâmicos. A Figura 1 ilustra o comportamento de um material piezoelétrico. Onde a interação tensão mecânica-elétrica ou vice-versa pode ser observada.

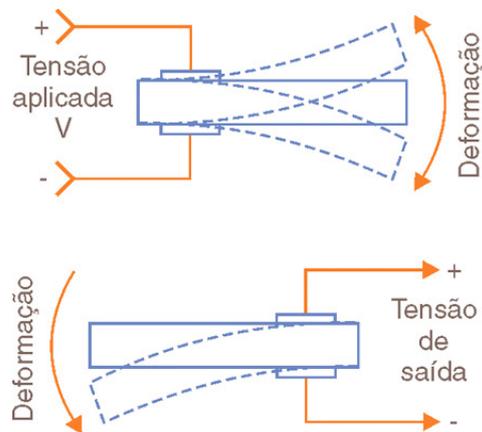


Figura 1. Ilustração do efeito Piezoelétrico

O princípio de operação consiste na determinação do tempo de trânsito (ToF) ultrassônico a partir de uma tensão elétrica aplicada ao transdutor-transmissor, que por sua vez gera uma onda mecânica que se propaga em um trajeto até chegar ao transdutor-receptor, onde o mesmo detecta o sinal e realiza a mudança de domínio de energia mecânica para energia elétrica.

A bibliografia descreve a existência de uma relação entre o comprimento de uma onda para propagação e a frequência da onda, seja ela ultrassônica, mecânica ou eletromagnética. A frequência é uma grandeza associada a movimentos de característica ondulatória que indica o número de oscilações por unidade de tempo, e a distância entre valores repetidos sucessivos em um padrão é chamado de comprimento de onda. Esse comprimento de onda tem uma relação inversa com a frequência, a velocidade de repetição de qualquer fenômeno periódico, onde o comprimento da onda é igual a velocidade da onda dividida pela frequência. Uma vez que, a mesma proporção que a frequência de operação aumenta, o comprimento de onda diminui. Consequentemente, com uma maior frequência e menor comprimento a onda torna-se capaz de cruzar obstáculos como paredes, ferro, diversas estruturas metálicas, etc.

(KOUPELIS, Theo e KUHN, Karl F. In Quest of the Universe, 2007).

Existem parâmetros que diferem um sensor de um transdutor ultrassônico. O sensor é um dispositivo que responde a um estímulo físico ou químico de maneira específica e mensurável analogicamente. Alguns sensores por sua vez, respondem com sinal elétrico a um estímulo positivo, isto é, convertem a energia recebida em um sinal elétrico. Neste caso, podem ser chamados de transdutores. Um transdutor converte um tipo de energia em outra. É geralmente composto por um elemento sensor, normalmente piezoelétrico, e uma parte que converte a energia derivada dele em sinal elétrico. Quando um sinal é disponibilizado na forma de corrente ou tensão já condicionado, no caso (4 a 20) mA, (0 a 10) V ou (0 a 5) V, geralmente, o dispositivo é chamado de transmissor ou transdutor. O mesmo introduz um ruído aditivo de natureza aleatória. Quando o receptor identifica o sinal ultrassônico emitido, o mesmo realiza a mudança de domínio de energia mecânica para elétrica, onde, a amplificação do sinal é usualmente necessária na etapa da recepção.

2.2 Configuração de Medição da Velocidade do Vento usando Transdutores Ultrassônicos

A Figura 2 ilustra a configuração para estimativa da velocidade do vento utilizando um par de transdutores ultrassônicos transmissor-receptor. O transdutor opera a uma frequência de 40 kHz onde a partir de uma tensão elétrica, gera-se uma onda mecânica que viaja pelo meio e interage com o fluido (ar). O mesmo introduz um ruído aditivo de natureza aleatória, oriundo, por exemplo, de uma variação térmica, elétrica, etc. Tal ruído atenua o sinal devido a sua impedância. Em seguida, quando o receptor detecta o sinal recebido, imediatamente realiza a mudança de domínio de energia de mecânica para elétrica.

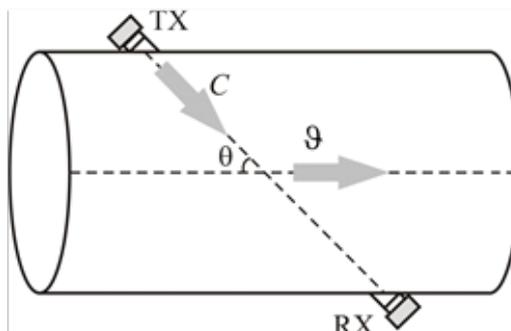


Figura 2. Configuração dos sensores para medição

Da configuração de medição, podemos relacionar as variáveis de processo que definem a medição da velocidade do vento como sendo:

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

onde: L é a distância entre os transdutores ultrassônicos, θ é o ângulo de alinhamento entre os transdutores ultrassônicos e a direção do vento, ToF é o tempo de trânsito e C é a velocidade do som. Sendo esta última influenciada pela variação de temperatura quando mensurada em um meio seco, sendo expressa por:

$$C = 20.074\sqrt{273.15 + T} \quad (2)$$

onde: T é a temperatura do meio de medição em °C.

Figura 3 ilustra o sinal elétrico no transmissor (TX) e no receptor (RX) ultrassônico. O modelo matemático do sinal elétrico em TX é expresso por:

$$v_{TX}(t) = A_o \sin(\omega \times t) \quad (3)$$

onde: A_o é a amplitude gerada, ω é a frequência gerada, t é o tempo e $s(t)$ é o sinal transmitido.

O modelo matemático do sinal ultrassônico recebido pode ser construído considerando a atenuação do meio no sinal, um atraso devido a interação com o meio (ToF), uma diferença de fase devido a impedância do meio e um ruído aditivo (η). Então, o modelo é dado por:

$$v_{RX}(t) = A \sin(\omega(t - ToF) + \phi) + \eta \quad (4)$$

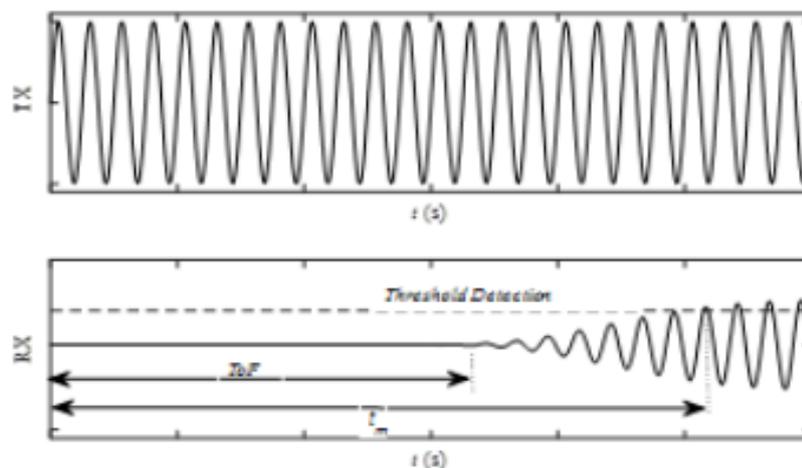


Figure 3. Sinais TX e RX.

Do sinal ultrassônico recebido, o método de detecção de limiar pôde ser utilizado para estimação do ToF. No entanto, a estimação por este método pode exibir algumas

mudanças em sua função densidade de probabilidade (fdp) devido a parametrização do modelo e aos tipos de ruído presente no meio de medição, como ilustrado na figura 4. A análise da função densidade de probabilidade do ToF pode ser feita usando o método de Simulação de Monte Carlo (SMC) que é utilizada na avaliação da propagação de incertezas como indicado no suplemento 1 para o GUM, onde o mesmo demonstra alguns processos para encontrar possíveis resultados associados a sua distribuição, sua respectiva probabilidade de ocorrência e seus momentos estatísticos. Para determinação da função densidade de probabilidade foram utilizados três diferentes tipos de distribuições para o ruído, sendo elas: Gaussiana, Uniforme e Triangular.

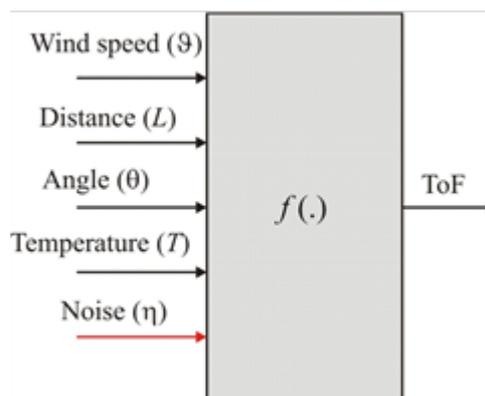


Figura 4. Parametrização do modelo

Neste modelo, a saída ToF é a principal variável a ser estimada enquanto que as outras variáveis independentes são as entradas do modelo, sendo elas: a velocidade do vento (v), a distância entre os transdutores ultrassônicos (L), ângulo entre os transdutores e a direção do vento (θ), temperatura do meio de medição (T) e um ruído aditivo (η). Esta parametrização do modelo nos permite determinar a propagação das incertezas combinadas pela seguinte expressão:

$$ToF = f(L, C, v, \theta) + \eta \quad (5)$$

onde:

$$f = \frac{L}{C + v \cos \theta} \quad (6)$$

O tempo de trânsito ultrassônico (ToF) é estimado por meio do método da diferença de tempo. Diante disso, os resultados deste trabalho de pesquisa foram obtidos através da implementação da técnica de detecção de limiar.

A técnica de Detecção de Limiar (TH - *Threshold Detection*) consiste em transmitir uma gama de ondas senoidais a partir do transdutor transmissor TX e realizar a medição do tempo necessário para a detecção (ToF) no transdutor receptor

RX através da detecção de um limiar, como ilustrado na Figura. 5. Porém, devido ao atraso infligido pelos transdutores, que inclui o tempo de emissão e o tempo de resposta, o valor medido do ToF não corresponde ao tempo de recepção. Logo, o valor do tempo medido pela ativação do detector de limiar (t_M) pode ser expresso como a soma do tempo de trânsito (ToF) com o tempo de atraso (t_a):

$$t_M = ToF + t_a \quad (7)$$

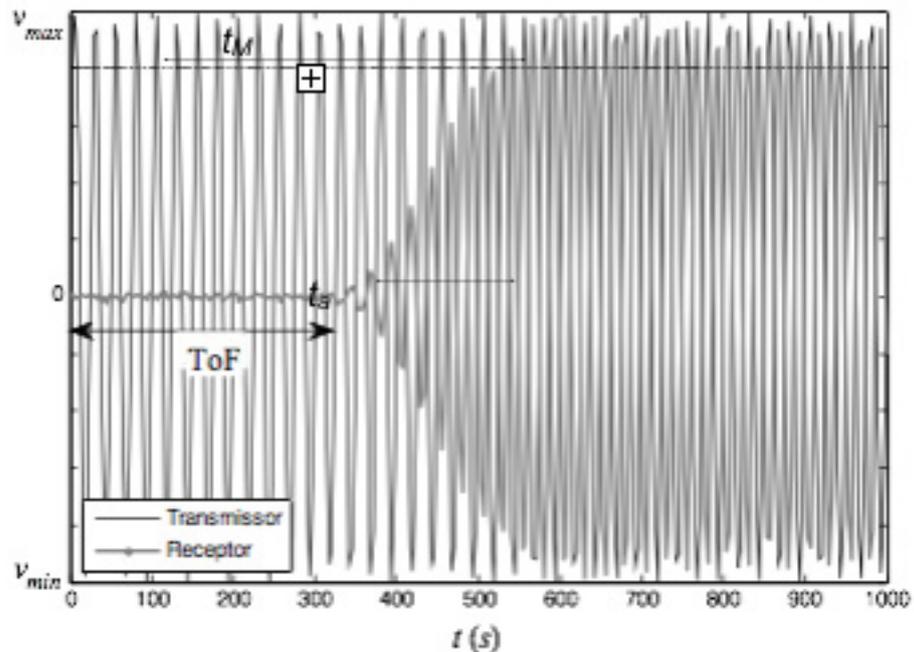


Figura 5. Medição do ToF utilizando a técnica de Detecção de Limiar (TH).

2.3 Método de Simulação Monte Carlo para estimação do ToF

É possível avaliar e expressar as incertezas de medição através de diversos métodos, dentre eles pode-se propor a análise pela guia de avaliação e expressão de incertezas em sistemas de medição-GUM e análise pela Simulação de Monte Carlo (SMC). A Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (GUM) é utilizada para determinar uma expressão matemática das incertezas em um processo de medição. Contudo, o GUM estabelece algumas limitações, onde, as incertezas devem ser de origem aleatórias e os modelos de distribuição conhecidos. Além de que, não devem existir ou devem ser eliminadas as incertezas sistemáticas. Já o Método de Monte Carlo permite determinar uma distribuição das incertezas e a partir essa distribuição, extrair o valor médio e o desvio padrão. Além de que, as variáveis poderiam ter diferentes distribuições e não necessariamente gaussiana. Com isso, é preferível a utilização do método de Monte Carlo para a avaliação da incerteza de medição, pelo fato da guia GUM possuir alguns problemas práticos, isto é, algumas limitações.

Para fim de aprimoramento dos resultados da Simulação de Monte Carlo, foi

configurado um gerador de números aleatórios com a capacidade de gerar distribuições do tipo Gaussiana, Triangular e Uniforme, com valor médio e desvio padrão conhecidos, os quais estão diretamente relacionados com as propriedades do ruído aditivo presente no meio de propagação. Com isso, para concretizar a implementação do método de Simulação de Monte Carlo foram gerados M simulações (intitulado conjunto de números aleatórios), onde, cada conjunto representava um sinal de ruído aleatório aditivo u_A .

O Método de Simulação Monte Carlo (SMC) é definido como uma classe de métodos estatísticos que se baseiam em amostragens aleatórias para obter as distribuições de probabilidade das variáveis do problema, e com isso obter futuras informações sobre o desempenho de sistemas ou processos. Na metrologia, a SMC é utilizada na avaliação de propagação de incertezas, que é indicada no suplemento 1 do GUM (BARRY, 1994), onde fornece uma gama de resultados possíveis associados a uma distribuição juntamente com suas respectivas probabilidades de ocorrência, possibilitando a obtenção de informações relevantes permitindo determinar seus momentos estatísticos, como: valor médio, desvio padrão, variância, kurtosis e skewness.

Figura 6 ilustra o fluxograma para estimação do ToF baseado no método de simulação Monte Carlo usando diferentes funções de distribuições de probabilidade (FDP's) de um ruído aditivo. Este processo tem como entradas o modelo matemático do problema, que neste caso foi representado por dois sinais elétricos associados a TX e RX. Também no mesmo nível, foi introduzido a caracterização da influência da incerteza associada com um ruído aditivo que se propaga na onda ultrassônica. Adicionalmente, foram utilizados M número de simulações, que para este trabalho foram de 10000.

No estágio de processamento, foi introduzido um gerador de números aleatórios capaz de gerar as distintas distribuições Gaussiana, Triangular e Uniforme com momentos estatísticos conhecidos, que estão relacionados as propriedades do ruído aditivo presente no meio de propagação.

A avaliação de incertezas usando a técnica de SMC é feita em duas fases. A primeira é estabelecer o modelo de medição e subsequentemente, a segunda envolve a avaliação do modelo. Baseado neste procedimento, podemos mostrar uma sequência de ações necessárias para avaliar as incertezas usando tal método, de acordo com o guia suplemento 1 para a Expressão de Incertezas na Medição, intitulado "Métodos Numéricos para a Propagação de Distribuições". Segundo o suplemento 1 para o GUM, a partir de M simulações pelo método de SMC, FDP's foram construídas para o ToF. A partir destas FDP's foram observadas certas características e extraídas parâmetros fundamentais como valor médio (melhor estimação) e desvio padrão (incerteza padrão).

A simulação efetua a análise por meio da construção de modelos de possíveis resultados, substituindo com um intervalo de valores, uma distribuição de

probabilidade e todo fator com incerteza inerente. Em seguida, a SMC calcula os valores repetidamente, cada vez com outros conjuntos de valores aleatórios gerados por funções de probabilidades. Dependendo do número de incertezas e dos intervalos especificados para elas, uma simulação de Monte Carlo pode ter milhares ou dezenas de milhares de recálculos antes de terminar, e por fim, a SMC produz distribuições de probabilidade de valores dos possíveis resultados.

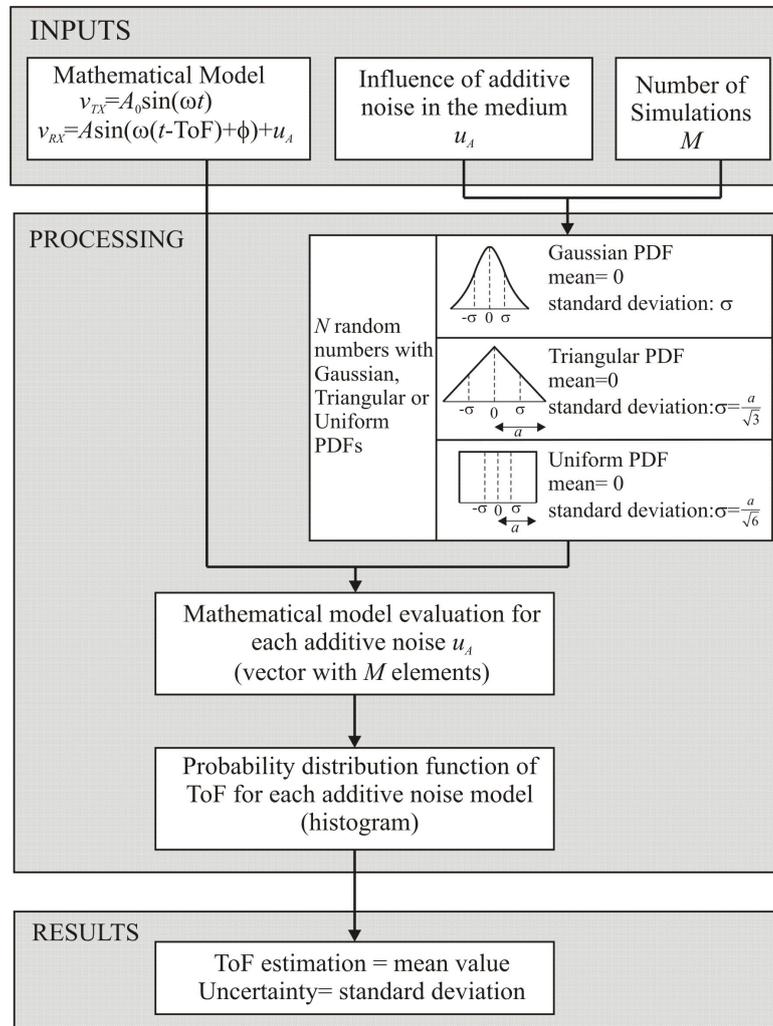


Figura 6. Fluxograma para a estimação das FDP's do ToF para diferentes FDP's do ruído aditivo

Como mencionado anteriormente, para obtenção da estimativa do tempo de trânsito ultrassônico, foi introduzido um ruído aditivo no sinal transmitido. O ruído aditivo é gerado devido à influência do meio de propagação sobre o sinal ultrassônico, podendo apresentar diferentes distribuições como Gaussiana, Triangular e Uniforme.

A distribuição Gaussiana, também chamada de distribuição Normal, apresenta certas características e propriedades, tais como a própria forma (forma de sino), a simetria em torno da média que é onde ocorre o pico da distribuição, uma maior probabilidade de ocorrência concentradas em torno da média e a curva é especificada usando dois parâmetros, o desvio padrão e a média, como se ilustra na Figura 7.

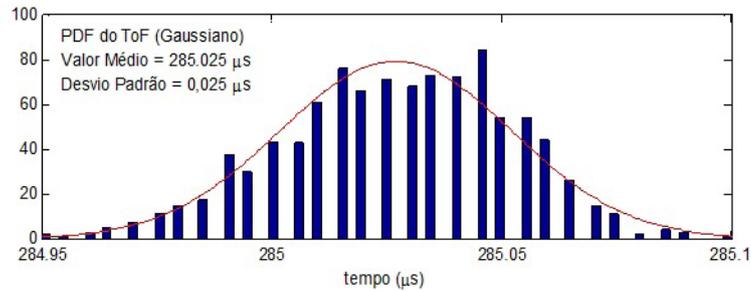


Figura 7. Distribuição Gaussiana

A distribuição Triangular é uma distribuição contínua que possui um valor mínimo, um valor máximo de modo que a função de probabilidade é zero nas extremidades e afim entre cada extremo, de forma que o gráfico dessa distribuição é um triângulo e requer parâmetros que são o valor médio e o desvio padrão, como se ilustra na Figura 8.

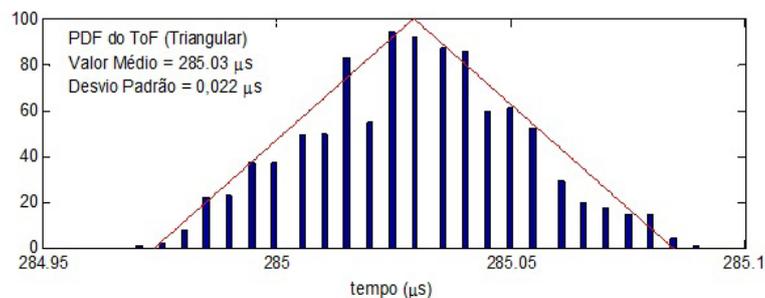


Figura 8. Distribuição Triangular

Para o caso da distribuição Uniforme, a mesma possui uma importante característica na qual, existindo um número finito de resultados, esses resultados terão a mesma chance de acontecer. Torna-se adequado representar seus possíveis resultados com um intervalo fechado $[a, b]$ com a e b considerados como os principais parâmetros da distribuição, como mostra a Fig. 9.

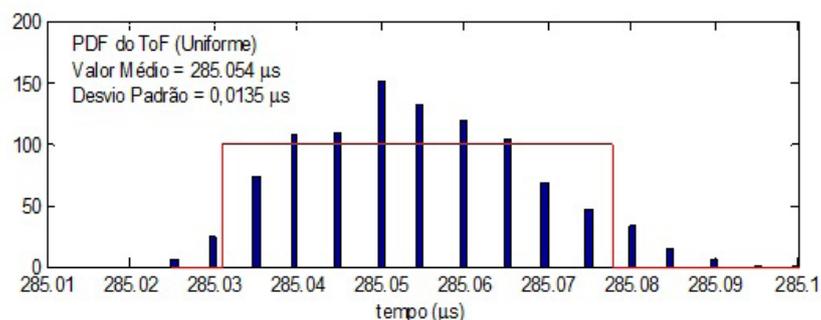


Figura 9. Distribuição Uniforme

Os parâmetros em comum que influenciam nos três tipos de função de probabilidade podem ser definidos, do ponto de vista estatístico, como: valor médio,

desvio padrão, variância, skewness e kurtosis. Desvio Padrão é a medida mais comum da dispersão estatística (geralmente representada pela letra grega σ). Ela mostra o quanto de variação ou “dispersão” existe em relação à média. A variância tem o objetivo de analisar o grau de variabilidade de determinadas situações e através da mesma podemos perceber desempenhos iguais, muito próximos ou muito distantes. A variância é calculada através da soma dos quadrados entre a diferença de um valor observado e um valor médio. Skewness, ou obliquidade, é uma medida assimétrica de uma determinada distribuição de frequência. Por fim, Kurtosis, em estatística, é uma medida de achatamento da distribuição de probabilidade de uma variável aleatória.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A princípio, foi desenvolvido um modelo matemático do sistema par ultrassônico transmissor-receptor, como se ilustra na Figura 10. Tal modelo consiste em um transmissor Tx representado pelo bloco *Product*, onde um sinal modelado como uma onda sinusoidal é transmitida pelo meio onde interage com o fluxo de ar representado pelo bloco *Transmit* e em seguida é adicionado um ruído aditivo de natureza aleatória que atenua o sinal representado pelo bloco *meio*. Após a adição do ruído, o transdutor receptor detecta o sinal recebido (bloco *Receive*), que por sua vez, é amplificado juntamente com o ruído (bloco *Gain*) e por fim é utilizada as técnicas de medição para determinar o ToF.

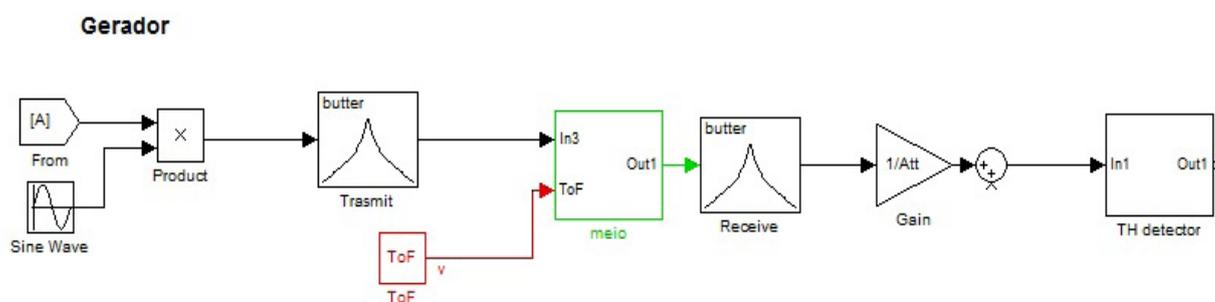


Figura 10. Diagrama de blocos do Modelo de Medição para transdutores ultrassônico transmissor-receptor

O modelo de medição associa-se às equações (3) e (4), onde o sinal transmitido é modelado pela equação (3) e o sinal recebido modelado pela equação (4), a amplitude do sinal recebido é diferente da amplitude do sinal transmitido, adicionalmente com uma fase e um ruído aditivo.

A relação sinal-ruído (*Signal-to-Noise Ratio* - SNR) é um conceito usados em diversos campos que envolvem medidas de um sinal em meio ruidoso, definido como a razão entre a potência de um sinal e a potência de um ruído sobreposto ao sinal. A relação sinal-ruído é um termo para a razão entre as potências de um sinal contendo alguma informação e um ruído de fundo que pode ser modelada por:

$$SNR = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{ruído}}} \quad (8)$$

onde: P_{signal} é a potência do sinal, $P_{\text{ruído}}$ é a potência do ruído.

De acordo com o modelo apresentado na Figura 10, o sinal transmitido é uma onda sinusoidal, com amplitude A , e o ruído é de natureza aleatória com valor médio zero e desvio padrão σ . Assim, a expressão do SNR em decibéis pode ser expressa por:

$$SNR = 10 \text{Log} \left(\frac{A^2 / 2}{\sigma^2} \right) \text{ (dB)} \quad (9)$$

Nota-se da Equação (9), que quanto menor a variância do ruído, maior o valor do SNR , e por tanto uma melhor qualidade do sistema de medição.

Com o propósito de estimação do ToF e a incerteza associada a esta medição, foi utilizado o procedimento baseado na Simulação Monte Carlo, como dito anteriormente. Para tal, foram estabelecidas as configurações do sistema de medição da Figura 2, sendo:

- Distância entre os transdutores ultrassônicos $L=0,1$ m
- Velocidade do vento $u = 10$ m/s
- Temperatura $T = 20$ °C
- Ângulo de alinhamento entre a direção da velocidade do vento e os transdutores ultrassônicos de $\theta = \pi/4$
- Atenuação do meio = 10% da amplitude máxima do sinal transmitida
- Sinal elétrico transmitido com 1 volt de amplitude
- A detecção do sinal recebido utilizando a Técnica de Detecção de Limiar foi capturado considerando um limiar de 0.8 volt.
- Tipo de características da PDF do ruído aleatório: Gaussiano, Triangular e Uniforme, com valor médio zero e desvio padrão $\sigma=0,01$ volt e $\sigma=0,03$ volt.
- Número de simulação do método SMC, $M=10000$.

Figura 11 ilustra a relação sinal-ruído (SNR) em função do desvio padrão do ruído no meio. Três tipos de FDP's para o ruído foram considerados nas simulações: Gaussiana, Uniforme e Triangular (de acordo com a Figura 4). Foi observado que o ruído de distribuição gaussiana promove resultados com o menor valor de SNR . Por outro lado, um ruído com distribuição uniforme apresenta resultados com maiores

valores para *SNR*. Enquanto isso, a distribuição triangular ruidosa produz valores de *SNR* entre máximos e mínimos nas simulações.

Figuras 12,13 e 14 mostram resultados para as FDP's do ToF adquiridos usando o método SMC considerando três tipos de FDP's ruidosos com desvio padrão $\sigma=0.3$ mV. Para cada cenário de simulação, testes de normalidade foram utilizados para os respectivos resultados e para todos os casos os resultados desses testes foram positivos para distribuição normal ou gaussiana.

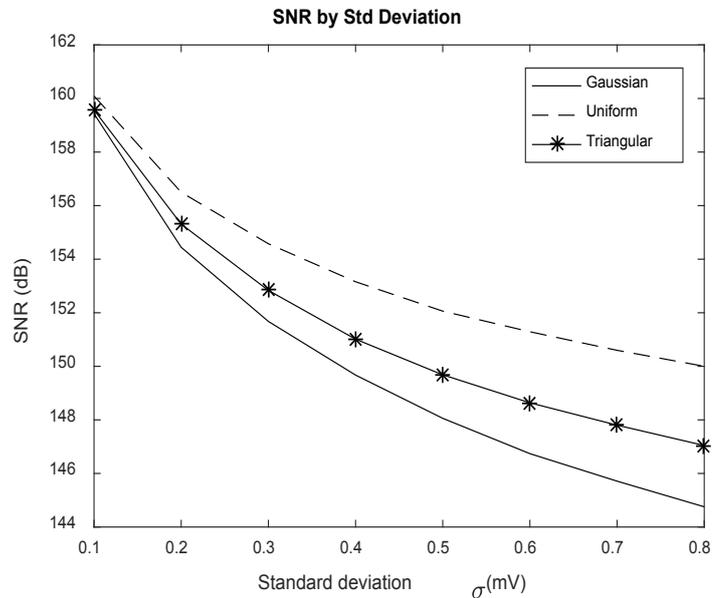


Figure 11. SNR por desvio padrão

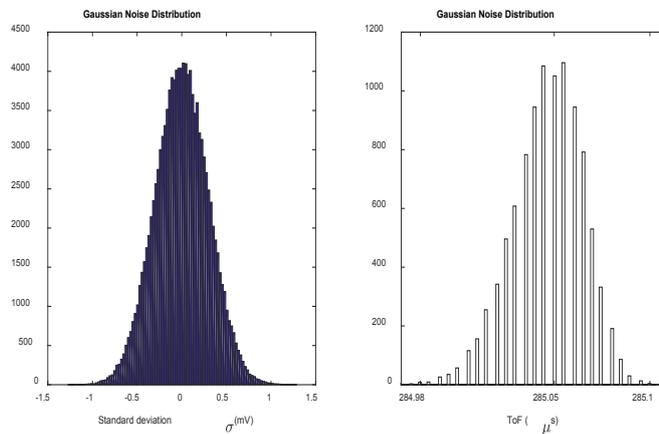


Figure 12. FDP do ToF usando ruído Gaussiano com $\sigma=0.3$ mV.

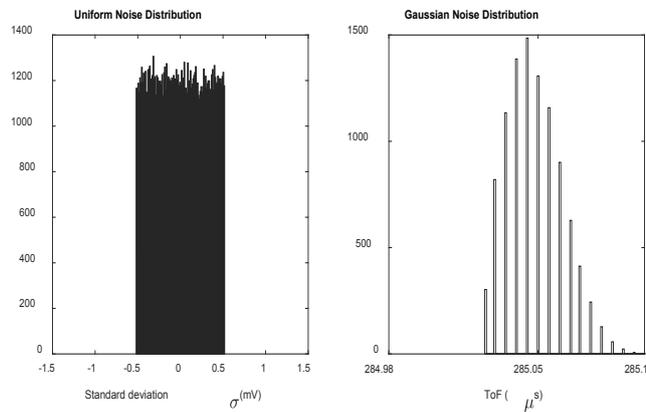


Figure 13. FDP do ToF usando ruído Uniforme com $\sigma=0.3$ mV

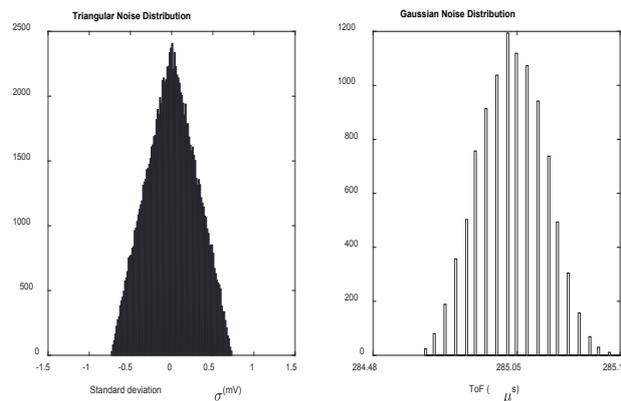


Figure 14. FDP do ToF usando ruído Triangular com $\sigma=0.3$ mV

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, a implementação do método de Simulação Monte Carlo foi desenvolvida com o fim de determinação da função densidade de probabilidade do tempo de trânsito (ToF) para aplicações na medição da velocidade do vento usando transdutores ultrassônicos quando considerado várias formas de ruídos aditivos no meio de propagação (Gaussiana, Uniforme e Triangular). O método proposto considera o procedimento do Suplemento 1 do Guia de Avaliação e Expressão de Incertezas na Medição (GUM). Foi observado que o método SMC produziu a função densidade de probabilidade do ToF, que por sua vez se relaciona com a forma de FDP do ruído aditivo. Diante disso, foi concluído que a forma da FDP do ruído influencia na forma de FDP do ToF. Este resultado pode ser usado para aprimoramento do modelo do sistema para medição de velocidade do vento quando usado transdutores ultrassônicos no qual o princípio de medição seja o tempo de trânsito ultrassônico (ToF).

REFERÊNCIAS

100:2008, J. (s.d.). *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement Technical Report JCGM 2008*.

101:2008, J. (s.d.). ***Evaluation of Measurement Data – Supplement 1 to the Guide to the expression of uncertainty in measurement – Propagation of distributions using a Monte Carlo method*** Technical Report JCGM 2008.

200:2012, J. (s.d.). ***International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)***.

Billinton, R. a. (1992). ***Reliability Evaluation of Engineering Systems. Second Edition pp 124 169.***

Daniel, G. D., & Cristina, A. K. (s.d.). ***Simulação de Monte Carlo na Avaliação de Incertezas de Medição.***

Donatelli, G. K. (2005). ***Simulação de Monte Carlo na Avaliação de Incertezas de Medição***, Revista de Ciência e Tecnologia, Vol. 13, Nº 25/26 – pp: 5-15.

Duarte R, V. J. (2013). ***Ultrasonic time-of-flight estimation for wind speed measurement based on time-frequency domain using STFT*** 19th IMEKO TC 4 Symposium (Barcelona, Spain, 18-19 July 2013) pp 72-6.

Ribamar, W. M. (2004). ***Anemômetro Baseado no método de Tempo de Trânsito: Estudo comparativo de arquiteturas, avaliação de incertezas e implementação.***

Taylor, B., & Kuyatt, C. (1994). ***Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*** NIST Technical Note 1297.

Villanueva J, C. S. (2009). ***Maximum-Likelihood Data Fusion of Phase-Difference and Threshold-Detection Techniques for Wind Speed Measurement*** IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 58 2189-7.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Jancer Destro: Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações pelo INATEL Mestre em Engenharia Industrial pela UNESP Campus de Bauru. Doutorando em Energia Aplicada a Agricultura pela UNESP Campus de Botucatu Coordenador do curso de especialização em engenharia de segurança do trabalho na UTFPR Campus de Cornélio Procópio. Trabalha com temas: Sistema de Telecomunicações, Segurança do trabalho e Energia Solar.

João Dallamuta: Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com Gestão da Inovação, Empreendedorismo e Inteligência de Mercado.

Marcelo Henrique Granza: Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro Eletrônico. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná e Doutorando em Engenharia Elétrica. Trabalha com os temas: conversores estáticos com alto fator de potência, acionamento e controle de motores e geradores elétricos de indução.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-365-1



9 788572 473651