

AVALIAÇÃO DA INCERTEZA ASSOCIADA À MEDIÇÃO DO RSSI EMITIDA POR UMA ETIQUETA ELETRÔNICA

Rodrigo Hiroshi Murofushi, Universidade Federal de Uberlândia, hiroshi.murofushi@ufu.br

Wesley Pereira Marcos, Universidade Federal de Uberlândia, wesleypmarcos@gmail.com

José Jean-Paul Z. de Souza Tavares, Universidade Federal de Uberlândia, jean.tavares@mecanica.ufu.br

Resumo: O uso sistemas de rádio frequência nos processos manufatura e de distribuição é de grande aplicação para o monitoramento dos produtos. O uso da potência do sinal na estimação de distâncias tem sido estudado, uma vez que há várias incertezas no processo de medição. Utilizando a metodologia proposta no GUM e o método de Monte Carlo, estudou-se a incerteza de medição do sinal de potência do RSSI a fim de quantificar os fatores de incerteza do processo de medição e auxiliar na melhor execução do processo experimental. A incerteza associada pôde ser determinada em ambas metodologias aplicadas, sendo o fator de reflexão do sinal o que se mostrou mais significativo em ambas as metodologias. Este trabalho possui como objetivo principal a avaliação da incerteza de medição associada à medição da potência de resposta de um sinal emitido por uma etiqueta eletrônica RFID. O estudo da incerteza associada à medição de RSSI irá auxiliar na estimação da incerteza associada à distância que uma tag se encontra da antena.

Palavras-chave: RSSI, Incerteza, Rádio Frequência, Monte Carlo, GUM.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de Identificação por Radiofrequência (RFID) contam com dois componentes principais para cumprir seu objetivo. Um leitor acoplado a uma antena que interroga várias tags ou etiquetas eletrônicas. As etiquetas devem ser ativadas pelo interrogador e respondem enviando uma string de identificação de volta para o leitor (Saab e Nakad, 2011).

Um uso genérico de sistemas RFID é o monitoramento de inventário em grande escala, entretanto outra aplicação dessa tecnologia que é pesquisada mundialmente nos últimos anos é a localização de objetos, trazendo assim, uma outra abordagem aos sistemas de automação. (Murofushi, 2016).

Uma possibilidade para localização de objetos é realizada a partir da potência de resposta de um sinal emitido por uma etiqueta eletrônica RFID, também conhecida por Received Signal Strength Indicator (RSSI). Com esse parâmetro, é possível estabelecer uma relação entre o valor do RSSI e a distância da tag à antena.

O valor da potência de um sinal de rádio frequência sofre influência de fatores tais como, distância do emissor, perdas por penetração e multipercursos (Reflexão, Refração, Difração e Espalhamento) (Najnudel, 2014).

A execução dos experimentos, por mais bem elaborada e controlada que seja, sempre produz resultados com incertezas. A incerteza de medição existe porque diversos fatores afetam a exatidão e a precisão de um sistema de medição. (Moraes, 2011). Ela é definida como um parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas (VIM, 2009). Há fatores que são controláveis, mas não podem ser eliminados, e outros que não são controláveis e podem estar presentes no processo de medição.

A fim de garantir que diferentes resultados possam ser comparados entre si, diversas normas e trabalhos têm sido desenvolvidos. São diversos os fatores que influenciam a incerteza total de medição e, dependendo do tipo de ensaio e/ou calibração, contribuem com intensidades diferentes. Em virtude disso, o laboratório deve considerá-los em seus procedimentos técnicos de ensaios ou calibrações e no aperfeiçoamento do pessoal (Moraes, 2011).

Uma tentativa de padronização destes procedimentos é o documento “Guide to the expression of uncertainty in measurements” (popularmente conhecido como GUM), publicado em 1993. No Brasil, a versão mais recente é datada de 2008.

2. METODOLOGIA

Este trabalho visa calcular a incerteza associada à medição de potência de um sinal emitido por uma tag RFID por meio de dois métodos distintos, o método proposto pelo GUM e o de Monte Carlo.

2.1. Cálculo da incerteza segundo o GUM

O GUM (2008) estabelece as regras gerais e critérios para expressar e combinar as incertezas individuais que afetam o processo de medição e, assim, determinar a incerteza total de medição, que pode seguir vários níveis de

exatidão e complexidade. O GUM (2008) conceitua três tipos de incerteza: a incerteza-padrão, a incerteza-padrão combinada e a incerteza expandida. A primeira delas está relacionada a cada grandeza de influência e é obtida através da análise individual de cada variável considerada. Conhecendo o efeito dessas grandezas, é possível relacioná-las por meio da Lei de Propagação de Incertezas obtendo-se, assim, a incerteza-padrão combinada. Por sua vez, a incerteza expandida consiste no resultado da multiplicação do valor da incerteza-padrão combinada por um fator, definido de acordo com o nível de abrangência desejado.

As incertezas podem ser classificadas como tipo A ou tipo B. Segundo o GUM, a incerteza-padrão do tipo A é aquela obtida de uma análise estatística de uma série de observações de um mensurando, assumindo uma distribuição normal ou outra qualquer. A variabilidades das leituras é um exemplo de incerteza do tipo A, apresentando distribuição normal e $n-1$ graus de liberdade. E pode ser calculada utilizando-se a Eq. (1).

$$u(x) = \sqrt{\frac{s(x)^2}{n}} \quad (1)$$

Em que “s” é o desvio padrão experimental e “n” é o número de elementos da amostra.

Diferentemente, a incerteza-padrão do tipo B é obtida por outros meios, tais como as considerações de manuais, especificações de fabricantes, certificados de calibração ou a partir de experiências anteriores. Dependendo da quantidade de informação disponível, ela assume uma ou outra distribuição. Por exemplo, para uma distribuição retangular, a incerteza pode ser estimada pela Eq. (2):

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Quando a informação não está disponível em nenhum manual ou certificado de calibração, ela ainda pode ser estimada. Segundo (Vuolo, 1995) a incerteza expandida para a calibração pode ser considerada como a própria Resolução ou algum múltiplo ou submúltiplo (R 0,5R 2R ou 3R), considerando um fator $k=2,00$. Assim a incerteza-padrão pode ser calculada:

$$u(x) = \frac{U}{k} \quad (3)$$

2.1.1. Passos do cálculo da incerteza baseado GUM

Conforme o GUM (2008), os passos para se determinar a incerteza de um resultado de medição são:

1. Definição do Mensurando;
 - a. RSSI da tag (P_{RSSI});
2. Identificação das variáveis de influência;
 - a. Variabilidade das leituras ($\overline{RSSI}$);
 - b. Resolução do leitor RFID (R_L);
 - c. Incerteza associada à calibração do leitor RFID (IC_L);
 - d. Incerteza associada às reflexões (I_{REF});
 - e. Incerteza associada ao ângulo entre a antena e a tag (I_θ);
3. Adoção do tipo de distribuição para cada variável de influência e do número de graus de liberdade;

Tabela 1: Tipo de avaliação, distribuição de probabilidade e graus de liberdade para cada fator de influência

Grandeza	Tipo de Avaliação	Distribuição de Probabilidade	Graus de Liberdade
$\overline{RSSI}$	A	t	25
R_L	B	Retangular	∞
IC_L	B	Normal	∞
I_{REF}	B	Triangular	∞
I_θ	B	Retangular	∞

4. Definição do modelo matemático;

$$P_{RSSI} = f(\overline{RSSI}, R_L, I_{CL}, I_{REF}, I_\theta) \quad (4)$$

$$P_{RSSI} = \overline{RSSI} + \Delta R_L + \Delta I_{CL} + \Delta I_{REF} + \Delta I_\theta \quad (5)$$

Onde:

- $\overline{RSSI}$: Média dos valores de potência RSSI mensurados;
 ΔR_L : Correção associada à incerteza da resolução do sistema de medição;
 ΔI_{CL} : Correção associada à incerteza de calibração do leitor de potência RFID;
 ΔI_{REF} : Correção associada à incerteza devido às reflexões das ondas de rádio;
 ΔI_θ : Correção associada à incerteza devido à variação do ângulo entre a antena e a tag.

5. Determinação da incerteza-padrão;

Obs.: Caso não se tenha o certificado de calibração para determinar a incerteza-padrão associado à calibração do instrumento, o mesmo pode ser estimado conforme proposto por Vuolo, (1995).

6. Aplicação da LPI para determinação da incerteza-padrão combinada (derivadas parciais e correlação entre as variáveis);

$$u_c^2(P_{RSSI}) = \left(\frac{\partial P_{RSSI}}{\partial \overline{RSSI}} \right)^2 u^2(\overline{RSSI}) + \left(\frac{\partial P_{RSSI}}{\partial \Delta R_L} \right)^2 u^2(\Delta R_L) + \left(\frac{\partial P_{RSSI}}{\partial \Delta I_{CL}} \right)^2 u^2(\Delta I_{CL}) + \left(\frac{\partial P_{RSSI}}{\partial \Delta I_{REF}} \right)^2 u^2(\Delta I_{REF}) + \left(\frac{\partial P_{RSSI}}{\partial \Delta I_\theta} \right)^2 u^2(\Delta I_\theta) \quad (6)$$

7. Determinação dos graus de liberdade efetivos ν_{ef} ;

$$\nu_{ef} = \frac{u_c^4(P_{RSSI})}{\left[u(\overline{RSSI}) \frac{\partial P_{RSSI}}{\partial \overline{RSSI}} \right]^4} \nu_{\overline{RSSI}} \quad (7)$$

8. Obtenção do valor do fator de abrangência;

9. Cálculo da incerteza-expandida;

10. Apresentação do resultado de medição.

A metodologia de cálculo do ISO GUM 95, segundo a norma técnica do **DIMEC/NT-07/V.00** (INMETRO, 2008) tem algumas limitações, dentre as quais vale ressaltar: linearização do modelo, suposição que o mensurando tem distribuição normal e determinação dos graus de liberdade da incerteza combinada.

2.2. Cálculo da incerteza segundo o método de Monte Carlo

Devido a estas limitações o método de simulação de Monte Carlo pode ser aplicado alternativamente para a avaliação da incerteza de medição. O referido método é um procedimento numérico para a solução de problemas matemáticos por meio da simulação de variáveis aleatórias, o qual utiliza a geração de números aleatórios para simular os valores de variáveis aleatórias, o que é melhor do que os cálculos analíticos. Atualmente ele é bastante popular devido à alta velocidade dos computadores pessoais.

O método de Monte Carlo para a estimativa de incerteza de medição, como no ISO GUM 95, pode ser resumido nas seguintes etapas principais, salvo que os passos de um a cinco são iguais do GUM.

1. Definição do mensurando;

2. Identificação das variáveis de influência;
3. Adoção do tipo de distribuição para cada variável de influência e determinação dos parâmetros estatísticos da cada FDP (função densidade de probabilidade);
4. Definição do modelo matemático;
5. Determinação da incerteza-padrão;
6. Determinação do número de iterações;
7. Geração de números aleatórios;
8. Obtenção dos valores do mensurando;
9. Obtenção da FDP do mensurando e cálculo da incerteza-expandida.

Neste trabalho foi realizada um total de um milhão de iterações para estimação da incerteza-expandida.

3. MONTAGEM EXPERIMENTAL E EQUIPAMENTOS

Para a realização dos testes, colocou-se a antena RFID e uma etiqueta eletrônica em um suporte com aproximadamente 30 cm de altura em relação ao solo. A distância entre esses dois componentes do sistema de rádio frequência é fixo com 80 cm. A Figura 1 ilustra a montagem para a realização do experimento.

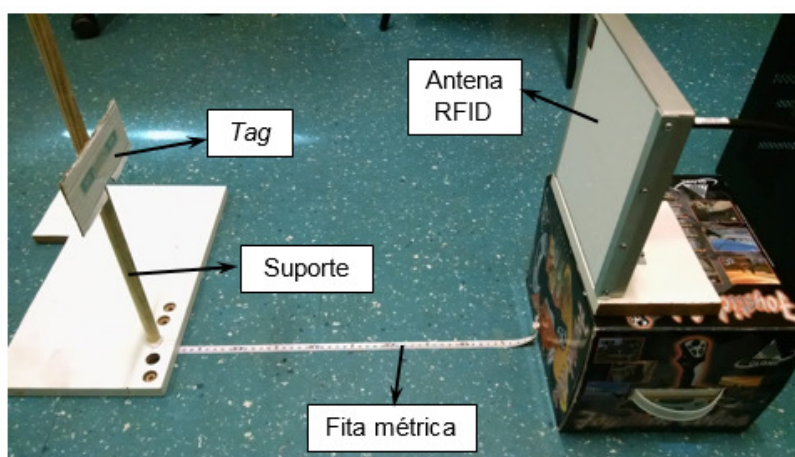


Figura 1: Montagem do experimento

O leitor de potência utilizado é o M6e da fabricante ThingMagic, cuja resolução é de 1 dBm. Este leitor de RFID UHF oferece duas portas de antenas e suporta a transmitir sinal de até 30 dBm.

A tag utilizada é passiva dipolo curto, opera na região de ultra alta frequência (UHF), com dimensões aproximadas 15 mm x 97 mm.

A antena utilizada é UHF monoestática com ganho máximo de 6 dBi, com abertura do feixe em 3 dBm de 77° (horizontal) e 72° (vertical) e tipo de polarização LHCP (circular).

A incerteza da calibração do sistema, devido à carência de certificado de calibração, foi considerada como 1 dBm, ou seja, o valor da resolução do sistema de medição.

Já o valor da incerteza associada às reflexões das ondas de RF foi adotado um valor de 5% do valor da média dos valores mensurados, pois experimentos realizados variando-se a altura da tag e da antena em relação ao solo em 20 cm mostraram uma variação média de 7% em relação à média das leituras. Visto que não há uma variação de altura tal como foi realizada nos experimentos, ainda há outros fatores que contribuem para a incerteza devido às reflexões que são de difícil estimação.

A incerteza referente à variação do ângulo entre a antena e a tag foi considerada como 1% do valor da média dos valores lidos.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados dos cálculos das incertezas padrão, expandida, das contribuições dos fatores de influência estão apresentadas na Tab. 2.

Tabela 2: Componentes de incerteza associada à medição de Potência RF

Grandeza	Estimativa (dBm)	AT	DP	GL	CS	Incerteza-padrão (dBm)	Contribuição (%)
RSSI	-48,167	A	t	25	1	0,393	10
RL	1,000	B	Retangular	∞	1	0,289	6
ICL	1,000	B	Normal	∞	1	0,500	16
IREF	2,408	B	Triangular	∞	1	0,983	63
IA	0,482	B	Retangular	∞	1	0,278	5
Incerteza-padrão combinada (u_c) em dBm						1,238	
Graus de liberdade efetivos (v_{ef})						4899	
Fator de abrangência (k)						1,96	
Incerteza expandida (U) em dBm						2,427	

Resultado da medição:

$$RM_{GUM} = (-48 \pm 3) \text{ dBm para } k = 1,96 \text{ e probabilidade de abrangência (PA) de } 95\%$$

Pode-se diminuir a contribuição da variabilidade das leituras aumentando-se a quantidade de valores lidos. Já utilizando o método de Monte Carlo, obteve-se o histograma apresentado Fig. 2.

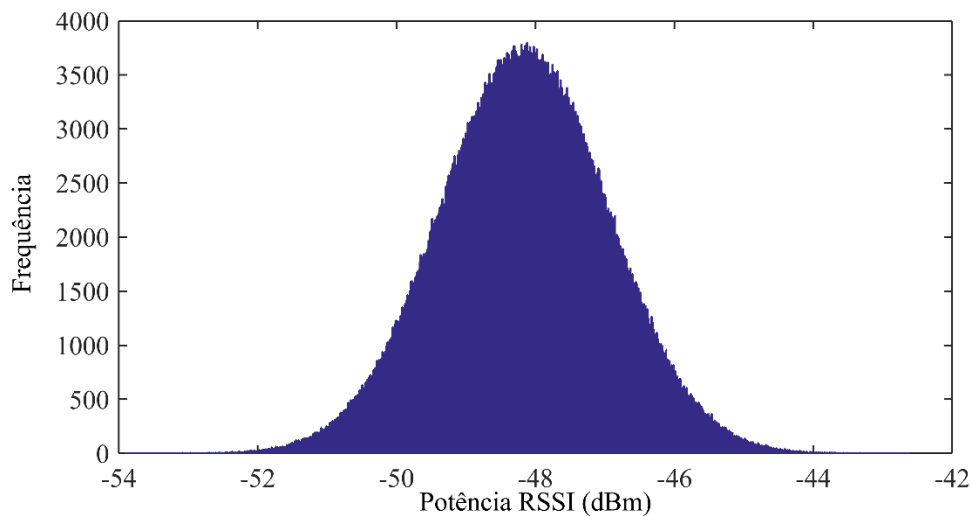


Figura 2: Histograma dos dados estimados pelo método de Monte Carlo

Observando os valores estatísticos obtidos apresentados na Tab. 3, pode-se inferir que se tem uma boa aproximação para a distribuição normal, ou seja, assimetria próximo de zero e curtose do valor três. Assim, o método de Monte Carlo pode é válido.

Tabela 3: Estatística para os dados estimados pelo método de Monte Carlo

Média	-48,167 dBm
Mediana	-48,165 dBm
Assimetria	-0,002
Curtose	3,007

O resultado de medição utilizando o método de Monte Carlo é:

$$RM_{MC} = (-48 \pm 3) \text{ dBm para } k = 2,00 \text{ e P.A.} = 95,45\%$$

A Tabela 4 apresenta os valores das incertezas obtidas através do GUM e Monte Carlo. Pode-se verificar que os valores das incertezas padrão combinada e expandida apresentam diferença na segunda casa decimal, sendo assim, valores próximos. Quando esses valores são aproximados para o inteiro superior, devido à resolução do equipamento ser de 1 dBm, o resultado de medição torna-se o mesmo.

Tabela 4: Comparação entre as incertezas combinada e expandida estimadas pelo GUM e Monte Carlo

Incerteza	ISO GUM (dBm)	Monte Carlo (dBm)
Expandida	2,427	2,431
Padrão Combinada	1,238	1,215

5. CONCLUSÕES

O valor da incerteza associada à medição de RSSI é de 3 dBm segundo o GUM e o método de Monte Carlo.

Como o principal fator de influência na estimação da incerteza são as reflexões, de acordo com o GUM, julga-se necessário fixar um valor da altura de uma tag e da antena em relação ao solo para o valor da contribuição dessa incerteza não se altere significativamente.

Vale observar que os valores das incertezas padrão para as variáveis IC_L , I_{REF} e I_θ foram estimadas sem um certificado de calibração, sendo de difícil rastreabilidade da incerteza associada à esses parâmetros.

6. TRABALHOS FUTUROS

Os trabalhos futuros são:

- Estudar incerteza de medição de RSSI em várias configurações diferentes;
- Estudar incerteza de medição na bancada de separação de peças;
- Estudar incerteza de medição de RSSI de tags diferentes;
- Analisar o efeito da incerteza na estimação da distância.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FEMEC, à professora Dra. Rosenda Valdés Arencibia e também à CAPES, FAPEMIG e CNPq pelo suporte intelectual e financeiro para a elaboração deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INMETRO, “Vocabulário Internacional de Metrologia Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados – VIM”, 2012. 77p.
- INMETRO, “Guia para Expressão da Incerteza de Medição”, Rio de Janeiro, 4ª Edição Brasileira, 2008. 120p.
- Instituto Nacional de Metrologia. “DIMEC/NT-07/V.00: A estimativa da incerteza de medição pelos métodos do ISO GUM 95 e de simulação de Monte Carlo”, 2008.
- Moraes, M.A.F. “Desenvolvimento de Planilhas Eletrônicas para Calcular Incerteza de Medição”. 2011. 101 f. Monografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Murofushi, R.H. “Desenvolvimento de um Sistema de Posicionamento Interno Baseado na Potência do Sinal de Resposta de um Sistema RFID”. Dissertação de Mestrado, UFU, 2016.
- Najnudel, M. “Estudo de Propagação em Ambientes Fechados para o Planejamento de WLANs”. 2004. 136 f. Dissertação de mestrado - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- Saab, S.S.; Nakad, Z.S.A. “Standalone RFID Indoor Positioning System Using Passive Tags”. Ieee Trans. Ind. Electron., [s.l.], v. 58, n. 5, p.1961-1970, maio 2011. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).
- Vuolo, J.H. “Fundamentos da teoria de erros”. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, SP. 2a Ed. 1992.