

Localização tridimensional em sistemas RFID com leitor móvel

Eric da Silva Ferraz e Celso Barbosa Carvalho

Resumo—Diversas pesquisas da literatura propõem mecanismos de localização de etiquetas RFID utilizando o indicador RSSI. No entanto, a grande maioria destas pesquisas propõem soluções de localização para o plano bidimensional (2D). Neste trabalho adotamos uma matriz composta de etiquetas de referência físicas e etiquetas de referência virtuais juntamente com um leitor móvel, para promover a localização de etiquetas RFID em ambiente tridimensional (3D). Além disso, nossa pesquisa se diferencia das demais uma vez que utilizamos leitor RFID móvel, característica esta que reduz custos de implantação em decorrência de não ser necessário utilizar um conjunto de leitores RFID fixo. Desenvolvemos o mecanismo utilizando o software Matlab e os experimentos realizados, demonstraram que nossa proposta obteve maior precisão de localização, com ganhos de 46% quando comparado ao erro de localização de outras soluções.

Palavras-Chave—RSSI, RFID, localização tridimensional, leitor móvel, erro médio.

Abstract— Several researches in the literature propose mechanisms for locating RFID tags using the RSSI indicator. However, the vast majority of these researches propose two-dimensional (2D) location solutions. In this work, we adopted a matrix composed of physical reference tags and virtual reference tags together with a mobile reader, to promote the localization of RFID tags in three-dimensional (3D) environment. In addition, our research differs from the others since we use mobile RFID reader, a feature that reduces deployment costs as a result of not having to use a set of fixed RFID readers. We developed the mechanism using the Matlab software and the performed experiments, demonstrated that our proposal obtained greater location accuracy, with gains of 46% when compared to the location error of other solutions.

Keywords—RSSI, RFID, three-dimensional location, mobile reader; Average error.

INTRODUÇÃO

A tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) tem sido amplamente utilizada em aplicações industriais e na pesquisa científica [1]. Com a utilização do RFID é possível detectar a presença de objetos, a maiores distâncias e com maior velocidade, quando comparado a técnica de código de barras e, por isso, vem se tornando popular em muitas aplicações [2, 3]. Os GPS (*Global Positioning System*) são utilizados para determinar a localização de objetos em ambientes externos [4]. No entanto, o GPS não é adequado em ambientes internos, uma

vez que as paredes deste tipo de ambiente impedem a recepção de sinais provenientes de satélites de referência [5]. Um esquema de localização interno tradicional baseado em RFID atribui etiquetas a objetos e localiza estes objetos por meio da comunicação entre as etiquetas e leitores.

LANDMARC é um dos algoritmos mais conhecidos para determinar a localização de etiquetas RFID em ambientes internos 2D [6]. Para localizar uma etiqueta alvo, [6] utiliza um conjunto de leitores RFID para medir e, comparar valores de RSSI das etiquetas alvo e das etiquetas RFID de referência. O aumento na quantidade de leitores RFID aumenta a precisão do algoritmo. Para aumentar a precisão, sem aumentar o custo do sistema, VIRE [7] utiliza etiquetas de referência virtuais.

Pesquisas evoluíram da localização bidimensional (2D) [6,7] para localização tridimensional (3D) [8,9]. No entanto, verificamos que a maior parte das pesquisas [2,6-10], utiliza vários leitores RFID fixos (mínimo de 04 leitores de referência) para proceder com a localização de objetos.

Neste trabalho e com base em VIRE, adotamos uma matriz formada por etiquetas de referência físicas e etiquetas de referência virtuais, etiquetas virtuais não existem fisicamente e tem seu valor de RSSI definido utilizando interpolação linear a partir das posições e valores de RSSI das etiquetas de referência. Contudo, adequamos a solução de VIRE para o cenário de etiquetas RFID passivas. Diferente dos trabalhos anteriores [2,3,6-11], adotamos um único leitor RFID móvel e desenvolvemos um mecanismo capaz de determinar a localização de etiquetas RFID alvo. A mobilidade do leitor possibilita que este se movimente e obtenha leituras de RSSI em diferentes posições. Ao final das leituras de RSSI, o mecanismo proposto avalia a diferença entre o RSSI da etiqueta RFID alvo e os valores de RSSI das etiquetas da matriz de referência, buscando similaridades entre seus valores. O mecanismo proposto foi implementado e validado utilizando ambiente simulado codificado em linguagem do *software* Matlab. De acordo com os resultados das simulações o mecanismo proposto obteve um erro médio de 0.37m. Uma redução de 46% no erro médio de localização quando comparado a pesquisa de [9] que obteve erro médio de localização de 0,54m e, é a mais recente sobre o tema [9]. O erro médio de localização encontrado no mecanismo proposto neste artigo é promissor considerando-se o cenário de localização de caixas em um estoque fabril.

TRABALHOS RELACIONADOS

A pesquisa de [2] utiliza otimização por enxame de partículas (*Particle Swarm Optimization* - PSO) e BP (*Back Propagation*) para determinar a localização 2D utilizando RFID. A solução foi testada experimentalmente, possuindo erros de

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
60
61
62
63
64
65

Eric da Silva Ferraz SIDIA, Manaus-AM, Brasil e Celso Barbosa Carvalho, Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus-AM, Brasil, E-mails: eric.ferraz@sidia.com, ccarvalho_@ufam.edu.br.

localização de até 0,34m. No entanto, [2] não cria soluções para localização em ambientes 3D, necessita de um número elevado de leitores RFID (04) cada um com 04 antenas diretivas e 76 etiquetas RFID de referência para determinar a localização de uma etiqueta alvo em um ambiente com dimensões de $6 \times 7m$.

No desenvolvimento de soluções de localização utilizando RFID, LANDMARC [6] introduz o conceito de etiquetas de referência, estas são estrategicamente posicionadas no ambiente, sendo conhecidas suas posições e valores de RSSI. A partir destas informações, cria-se um mapa do ambiente com o qual determina-se o posicionamento de etiquetas alvo. LANDMARC foi concebido para determinar a localização em cenários que possuem etiquetas RFID ativas, com baterias para alimentar seus circuitos de transmissor e de processamento [6]. Para que a solução funcione são utilizados 4 leitores e 16 etiquetas de referência para determinar a localização de etiquetas alvo em um ambiente de $4 \times 6m$. A solução apresenta 50% dos erros de localização com valores igual a 1,1m, porém em cenário bidimensional e utilizando etiquetas RFID ativas.

Com base em LANDMARC, VIRE [7] propõe método para melhorar o sistema de localização, adicionando ao mapa de localização etiquetas que não existem fisicamente e que são chamadas de etiquetas virtuais. A partir das informações de RSSI e da localização das etiquetas de referência físicas, VIRE utiliza interpolação linear para determinar a posição e o RSSI de etiquetas virtuais posicionadas entre duas etiquetas de referência físicas. Por fim, compare-se as medições de RSSI das etiquetas de referência com o RSSI das etiquetas alvo, a fim de determinar suas localizações. Para que VIRE funcione são necessários 4 leitores RFID de referência e 16 etiquetas de referência reais. A solução apresenta erro médio de localização igual 0.2 m, porém, para ambientes 2D e utilizando cenário de etiquetas RFID ativas.

A pesquisa de [8] propõe esquema de localização de etiquetas RFID passivas em ambientes 3D. A solução utiliza variações na potência de transmissão de 3 leitores RFID fixos para determinar a localização de etiquetas RFID alvo. Além disso, são utilizadas etiquetas de referência, com posições conhecidas, a fim de determinar a posição de etiquetas RFID alvo. No entanto, a pesquisa de [8] não utiliza como métrica de avaliação de desempenho a variável erro de localização e, sim, o gasto de energia e tempo de localização de etiquetas alvo.

A pesquisa de [9] estende a solução proposta em VIRE para o plano 3D. Através da coleta de RSSI das etiquetas de referência e por meio de interpolação linear encontra-se o valor de RSSI das etiquetas virtuais posicionadas nas três dimensões. A solução utiliza 27 etiquetas de referência físicas e 2 leitores fixos para determinar a localização de etiquetas RFID alvo do tipo ativa em um ambiente de dimensão $2 \times 2 \times 2m$. O erro de localização da proposta é de 0,54 m.

Bouchard [10] propõe um esquema de trilateração para determinar a localização de etiquetas RFID passivas. O sistema emprega 04 leitores RFID e considera que a zona de interrogação dos leitores é elíptica, além de dividir a área de interrogação em subáreas quadradas e utilizar lógica fuzzy para determinar a localização de uma etiqueta RFID alvo dentro destas subáreas. Segundo os autores, a proposta obtém erro médio de localização de 32,16 cm para a localização de objetos. Contudo, a proposta é dedicada a localização utilizando leitores RFID fixos em ambientes bidimensionais.

Huynh [11] propõe uma solução de localização RFID passivo baseada em ontologia com o objetivo de localizar objetos. A proposta gera informações do tipo “o objeto está

sobre a mesa”. Para implementar a solução os autores utilizam 4 leitores RFID posicionados nas entradas de 4 cômodos, 1 leitor RFID móvel e 24 etiquetas RFID de referência posicionadas em conjuntos de 4 em 6 peças de mobília localizadas nos 4 cômodos. Os leitores RFID são utilizados como referências de nível mais alto enquanto as etiquetas posicionadas na mobília, servem de referência específica. Apesar de possuir acurácia de 87% o artigo utiliza uma grande quantidade de leitores e etiquetas RFID de referência.

A Tabela I apresenta resumos dos trabalhos relacionados. Após análise dos artigos de referência verificamos que a grande totalidade utiliza vários leitores fixos, sendo a precisão do sistema diretamente relacionada com a precisão. O aumento seja de leitores ou de etiquetas de referência encarece o projeto. Por este motivo resolvemos propor uma outra abordagem, ao invés de vários leitores sugerimos a utilização de um único leitor RFID móvel, sendo um leitor móvel aquele que possui uma bateria interna e pode se movimentar livremente.

TABELA I. RESUMO DOS ARTIGOS DE REFERÊNCIA

Referência	Plano	Qtd. Leitores	Sistema de referência
Wang [2]	2D	4	Etiq. Ref. + Leitores Ref. + Leitores Ref.
LANDMARC [6]	2D	4	Etiq. Ref. + Leitores Ref.
VIRE [7]	2D	4	Etiq. Ref. + Etiq. Virtuais + Leitores Ref.
Bu, Kai [8]	3D	≥ 4	Etiq. Ref. + Leitores Ref.
Han [9]	3D	2	Etiq. Ref. + Etiq. Virtuais
Buchard [10]	2D	4	Leitores Ref.
Huynh [11]	2D	5	Etiq. Ref. + Leitores Ref. + Leitor móvel

MODELAGEM DO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Para implementar o mecanismo proposto neste artigo, optamos pela simulação utilizando o software Matlab, onde implementamos uma cubo de dimensões $3 \times 3 \times 4m$ simulando um armário utilizado para estocagem de produtos. Foram simuladas a existência de etiquetas RFID de referência, sendo estas etiquetas posicionadas nos 8 vértices do armário simulado. No cenário de experimento, um leitor RFID móvel se movimentava em torno do armário. No exemplo da Figura 1 o leitor RFID móvel aparece na posição (0,0,0). No sistema de localização proposto, o leitor RFID comparará medições de RSSI das etiquetas RFID de referência, físicas ou virtuais, com o RSSI da etiqueta alvo, a fim de localizá-la.

Em um ambiente de experimentação real, para localizar uma etiqueta alvo atachada em um objeto, o primeiro passo seria determinar a distância entre o leitor e as etiquetas de referência. Isto é feito com o leitor executando medições de RSSI e, a partir destas medições, o leitor estima tais distâncias. No entanto, em um ambiente simulado, é necessário um passo anterior, a

determinação do RSSI percebido pelo leitor RFID móvel. Tal como [12], utilizamos a Equação de Friis (Equação 1) para determinar os valores de RSSI, ou potência refletida pelas etiquetas (P_{rx}), sendo P_{tx} a potência transmitida, k a perda por transmissão *backscatter*, G_{leitor} e $G_{etiqueta}$ o ganho das antenas transmissoras e receptoras, λ o comprimento de onda do sinal transmitido e d a distância entre o leitor e a etiqueta. A Equação de Friis é válida para antenas isotrópicas e para regiões de campos afastado. A distância entre as antenas transmissora e receptora deve ser maior que o comprimento de onda.

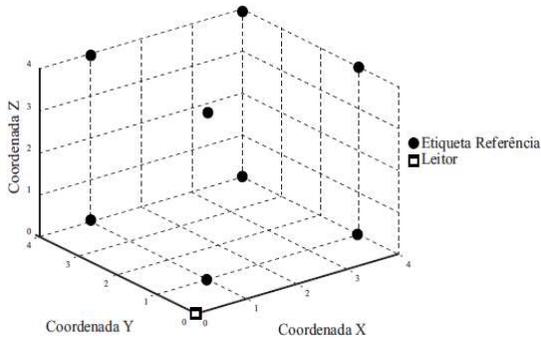


Fig. 1. Posicionamento das etiquetas de referência e do leitor

Observa-se que uma etiqueta anexada ao objeto-alvo, colocada na mesma posição de uma etiqueta de referência,

$$P_{rx} = \frac{P_{tx} \cdot k \cdot G_{leitor}^2 \cdot G_{etiqueta}^2 \cdot \lambda}{(4 \cdot \pi \cdot d)^4} \quad (1)$$

apresentará RSSI semelhante ao de uma etiqueta de referência [7]. Portanto, o RSSI de uma etiqueta anexada ao objeto-alvo pode ser estimado caso sua posição seja suficientemente próxima a uma etiqueta cuja posição é conhecida. Para potencializar esta situação [9] utiliza etiquetas virtuais sem aumentar o número real de leitores ou etiquetas físicas de referência. Em seguida, [9] determina as coordenadas e RSSI das etiquetas virtuais com base nas informações das etiquetas de referência físicas, aplicando interpolação linear [13]. Em nossa pesquisa também utilizamos etiquetas virtuais com o objetivo de diminuir o espaçamento entre etiquetas RFID na matriz de etiquetas de referência, reduzindo o custo da proposta. Em um espaço tridimensional fazendo a variável $n = 2$ (quantidade de etiquetas virtuais entre 2 etiquetas físicas), por exemplo, teremos duas etiquetas virtuais posicionadas equidistantes entre si e entre as etiquetas físicas, como apresentado na Figura 2.

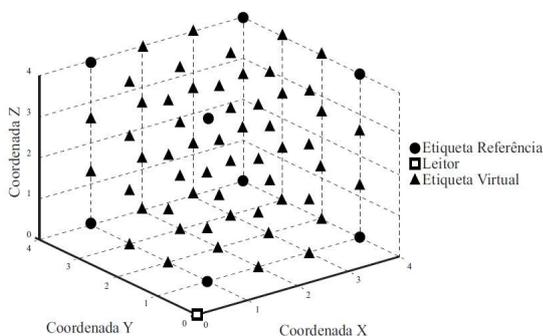


Fig. 2. Posicionamento das etiquetas de referência e do leitor

PROPOSTA

No sistema de localização proposto, o leitor RFID comparará medições de RSSI das etiquetas RFID de referência, físicas ou

virtuais, com o RSSI da etiqueta alvo que se encontra parada, a fim de localizá-la. De forma a deixar mais clara a solução, nossa proposta foi dividida em dois algoritmos.

A. Algoritmo 1: Identificação das posições candidatas

A Figura 3 apresenta um fluxograma do funcionamento do algoritmo para identificação das posições candidatas. As etapas deste fluxograma são descritas a seguir:

Bloco 1 – Coletar RSSI: O leitor RFID movimenta-se para executar leituras do RSSI em diferentes posições. A quantidade de posições de leituras é definida no sistema, entretanto, no experimento foram utilizadas 4 posições. Em cada posição, o leitor utiliza 03 diferentes potências (7, 13 e 21 dBm) de transmissão para coletar o RSSI: i) das etiquetas de referência físicas posicionadas estrategicamente; ii) da etiqueta alvo.

Bloco 2 – Montar Matriz Referência: A matriz de referência é uma tabela contendo o ID, a posição x, y, z e o RSSI de etiquetas físicas e virtuais. No sistema de localização proposto neste artigo são criadas 12 matrizes de referência, resultado da combinação de 4 posições de leitura e 03 potências de transmissão. Em cada uma das 12 leituras, a matriz de referência é iniciada com informações das etiquetas físicas e complementada com informações das etiquetas virtuais. A definição de quantidade e posicionamento das etiquetas virtuais foi explicada na Seção Modelagem do Ambiente de Simulação. A partir das informações de posicionamento das etiquetas virtuais e físicas e RSSI das etiquetas físicas, utiliza-se interpolação linear para determinar o RSSI das etiquetas virtuais.

Bloco 3 – Selecionar Posição de Leitura: Selecionamos, dentre as 4 posições de leitura do bloco 2, a posição na qual o leitor RFID utiliza a menor potência para obter a maior leitura de RSSI da etiqueta alvo. Tal posição de leitura, ajuda a garantir que as leituras de RSSI da etiqueta alvo apresentem maiores diferenças quando comparadas aos valores de RSSI das etiquetas físicas da matriz de referência. Estas maiores diferenças, permitem que o algoritmo de localização proposto possa identificar com mais facilidade a posição da etiqueta alvo.

Bloco 4 – Identificar Posições Alvo Candidatas: O mecanismo proposto identifica quais posições serão inicialmente consideradas como possíveis posições da etiqueta alvo. O mecanismo busca na matriz de referência etiquetas que apresentem similaridade com o valor de RSSI da etiqueta alvo. Nesta etapa, utilizam-se os valores de RSSI da matriz de referência, coletados na posição de leitura selecionada no Bloco 3, somente com a máxima potência de leitura (21 dBm). As demais leituras, com potências de 7 e 13 dBm, serão utilizadas na construção do mapa de densidade do Bloco 5. Após vários experimentos constatamos que caso o mecanismo considerasse apenas as posições da matriz de referência com valores de RSSI mais próximos ao da etiqueta alvo estimada, sem considerar outras opções dentro de uma faixa de similaridade, o erro médio do sistema era alto (acima de 3m). Analisando os dados das simulações, avaliamos ser necessário definir um limiar entre o possível valor de RSSI da etiqueta alvo e o RSSI das etiquetas da matriz de referência consideradas próximas. Empiricamente, o limiar foi definido em 3dB, valor no qual em 99% dos casos, a posição mais próxima da real etiqueta alvo era listada entre as possíveis posições identificadas pelo mecanismo.

Bloco 5 – Criar Mapa de Densidade: Nesta etapa foram consideradas todas as medições realizadas pelo leitor RFID móvel, nas 4 posições de leitura especificadas no Bloco 1 e, utilizando todas as potências de transmissão (7, 13 e 21 dBm). O mecanismo verifica, no conjunto de medições, a quantidade de

vezes em que cada posição candidata a etiqueta alvo, atende ao critério de similaridade apresentado no bloco 4. Com esta verificação, criou-se um mapa de densidade informando quantas ocorrências, cada uma das posições identificadas como possíveis posições, aparecem no conjunto de leituras.

Bloco 6 – Identificar Valores Máximos: A posição com maior ocorrência no mapa de densidade foi considerada como sendo a posição estimada da etiqueta alvo. Ainda assim, ainda ocorreram situações em que 2 ou mais posições possuíam mesmo valor máximo de aparições no mapa de densidade. Neste caso, todas as posições que apresentaram o máximo número de aparições no mapa de densidade foram consideradas como possíveis posições, sendo utilizado o Algoritmo 2 para eleger a posição final estimada para a etiqueta alvo.

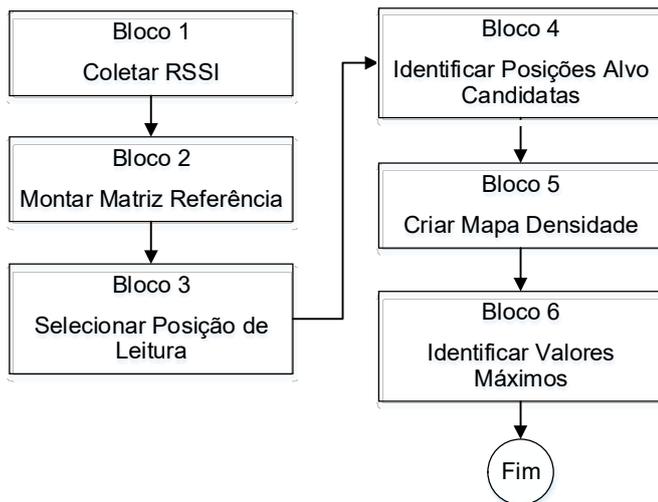


Fig. 3. Fluxograma para identificação das possíveis posições.

B. Algoritmo 2: Algoritmo de decisão

O fluxograma que descreve o Algoritmo 2 é apresentado na Figura 4 e suas etapas são descritas a seguir:

Bloco 1 – Verificar Quantidade de Posições: Verificou-se a quantidade de posições estimadas pelo Algoritmo 1. Havendo uma única posição, ela automaticamente era a posição final. Caso existissem 2 ou mais posições estimadas, informações de ID e localização x, y, z da etiqueta de referência eram utilizadas no Bloco 2.

Bloco 2 – Identificar Eixo Dúvida: O Algoritmo avalia a diferença entre as coordenadas x, y e z das posições estimadas pelo Algoritmo 1, identificando em qual dos eixos o mecanismo tem a maior dúvida. Em outras palavras, o eixo no qual as posições estimadas apresentam a maior diferença entre o valor máximo e o valor mínimo. Por exemplo, caso a maior diferença encontrada seja no eixo x , significa que o algoritmo de identificação de possíveis posições identificou um erro menor nas coordenadas y, z das posições estimadas. Portanto é no eixo x que o mecanismo necessita de uma ação para tirar sua dúvida.

Bloco 3 – Mover Leitor: O mecanismo solicitava que o leitor RFID fosse movimentado no eixo de maior dúvida.

Bloco 4 – Coletar RSSI: A fim de esclarecer a dúvida, em uma nova posição, utilizou-se o leitor RFID móvel para executar nova leitura de RSSI das etiquetas de referência físicas e alvo.

Bloco 5 – Interpolar RSSI: Verificou-se se alguma das posições identificadas como possíveis posições, no bloco 6 do Algoritmo 1, pertenciam a etiquetas virtuais. Caso positivo, utilizou-se interpolação linear para determinar o RSSI destas etiquetas

virtuais, empregando, para isto, os valores de RSSI das etiquetas de referências físicas coletados após a movimentação no eixo de dúvida.

Bloco 6 – Avaliar proximidade: Foi avaliado qual valor de RSSI das etiquetas da matriz de referência, dentre os valores das posições estimadas, no bloco 6 do Algoritmo 1, possui valor de RSSI mais próximo ao valor de RSSI da etiqueta alvo. A posição que atendia este critério era selecionada como posição final.

Bloco 7 – Calcular Erro: Identificada a posição final estimada, o mecanismo calculava o erro de localização. Isto foi possível uma vez que na simulação conhecemos a posição da etiqueta alvo e o erro foi calculado pela distância entre a posição real da etiqueta alvo e a posição estimada pelo mecanismo.

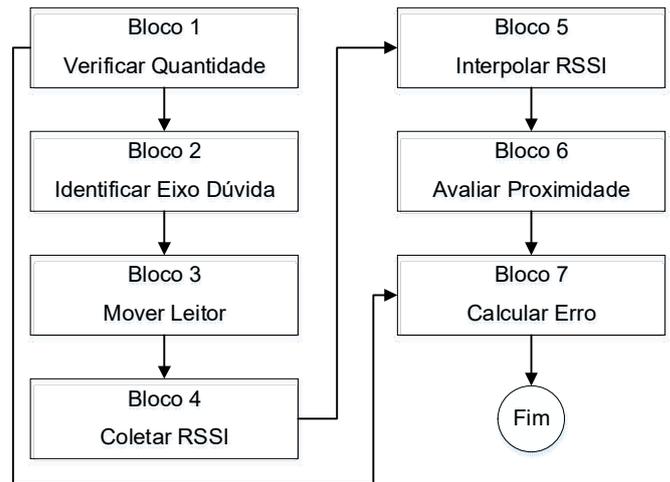


Fig. 4. Fluxograma para tomada de decisão

RESULTADOS

Para gerar resultados foi calculada a média aritmética de 100 simulações com intervalo de confiança de 99%. Nas simulações observamos os resultados de erro médio de localização e tempo de localização, ao variar a quantidade de etiquetas virtuais (n) posicionadas entre duas etiquetas de referência. As métricas de avaliação de desempenho são apresentadas a seguir:

- Erro médio - média aritmética dos erros de localização encontrados para o conjunto de simulações executadas. Cada valor de erro de localização utilizado na média aritmética é determinado a partir da distância entre as posições da etiqueta alvo e posição estimada de localização obtida pelos Algoritmos 1 e 2;
- Erro máximo - valor máximo do erro de localização encontrado para o conjunto de simulações executadas;
- Erro mínimo - valor mínimo do erro de localização encontrado para o conjunto de simulações executadas;
- Tempo de simulação - Tempo decorrido em cada simulação.

Conforme Tabela II, utilizamos nas simulações 8 valores para a variável n , sendo executadas 100 simulações do mecanismo proposto para cada valor de n . Os resultados das simulações são observados na Tabela II.

A Figura 5 apresenta graficamente o erro médio e o intervalo de confiança do erro. Nota-se que o erro tem relação inversa ao aumento da quantidade de n . Aumentando-se a quantidade de etiquetas virtuais ocorre a diminuição no valor do erro.

TABELA II. RESULTADO DAS SIMULAÇÕES

Item	Valor de n							
	2	3	4	7	10	15	20	35
Erro Médio	0,55	0,42	0,38	0,38	0,37	0,36	0,36	0,31
Erro Máx.	1,72	1,48	0,81	0,9	0,78	0,85	0,77	0,96
Erro Mín.	0,14	0,1	0,1	0	0	0	0	0
Tempo Médio (m)	0,01	0,01	0,02	0,08	0,21	0,60	1,95	8,89

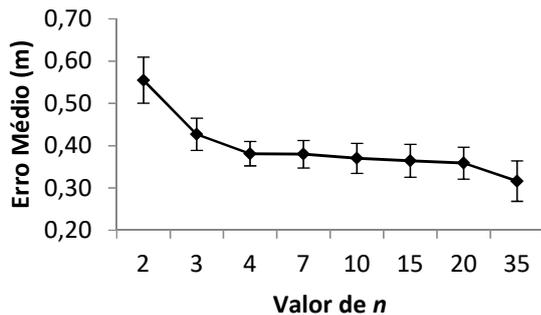


Fig. 5. Gráfico do Intervalo de confiança do Erro médio versus valor de n

A Figura 6 mostra a relação entre a quantidade de etiquetas virtuais posicionadas entre duas etiquetas de referência (n) e o tempo transcorrido para identificação da etiqueta alvo. Verificasse que quanto maior a quantidade de etiquetas virtuais, maior foi o tempo para que o mecanismo proposto estimasse a posição da etiqueta alvo.

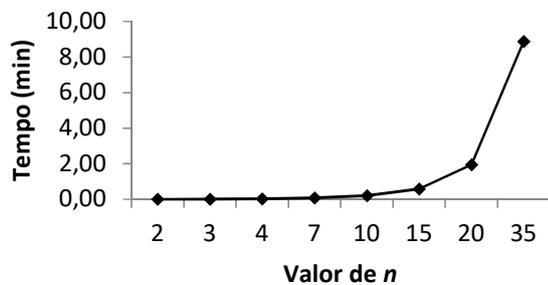


Fig. 6. Gráfico do tempo (m) de simulação versus valor de n

TABELA III. COMPARAÇÃO DE ERRO MÉDIO

Referência	Plano	Qtd. Leitores	Erro(m)
Mecanismo proposto	3D	1	0,37
Changzhi Wang et al[2]	2D	4	0,35
LANDMARC [6]	2D	4	1
VIRE [7]	2D	≥ 2	0,2
Kai Bu et al [8]	3D	≥ 4	-
Han et al [9]	3D	2	0,54
Buchard[10]	2D	4	0,32
Huynh [11]	2D	5	-

Analisando a Figura 5, vemos que a partir de $n=4$, o mecanismo proposto apresenta valores semelhantes de erro de localização. Já na Figura 6, nota-se que no intervalo de $n = 2$ até $n = 10$, o tempo médio das simulações é semelhante. Com base nestas afirmações decidiu-se que o valor de $n = 10$ é o valor ótimo do mecanismo proposto. Com isso o erro médio final do mecanismo proposto foi considerado como sendo igual a 0,37m. Na Tabela III apresenta-se o erro médio da proposta deste artigo, comparado com os trabalhos pesquisados na literatura.

CONCLUSÕES

Este trabalho desenvolveu um mecanismo de localização 3D de etiquetas RFID em ambientes internos. O objetivo foi localizar objetos, com etiquetas RFID anexas, situados em prateleira de um ambiente fabril. A exemplo a localização de itens em um estoque. Simulações demonstraram que a proposta gerou resultados com menor erro de localização, quando comparado com outros trabalhos. O Erro médio final do mecanismo proposto foi de 0,37m, um ganho de 46% quando comparado com a melhor proposta de referência no plano 3D.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda, nos termos da Lei Federal nº 8.387/91, através de convênio firmado com o CETELI/UFAM; pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM).

REFERÊNCIAS

- [1] Handbook, R. F. I. D. "Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards." *Radio Frequency Identification* (2010).
- [2] Wang, Changzhi, et al. "Indoor positioning technique by combining RFID and particle swarm optimization-based back propagation neural network." *Optik* 127.17 (2016): 6839-6849.
- [3] Motroni, Andrea, A. Buffi, and P. Nepa. "Localization of a mobile device equipped with an RFID reader." *2017 IEEE International Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA)*. IEEE, 2017.
- [4] Parkinson, Bradford W., et al., eds. *Global positioning system: Theory and applications, Volume II*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.
- [5] Moutinho, J., D. S. Freitas, and R. E. Araújo. "Indoor Sound Based Localization." (2016).
- [6] Ni, Lionel M., et al. "LANDMARC: indoor location sensing using active RFID." *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003.(PerCom 2003)*. IEEE, 2003.
- [7] Zhao, Yiyang, Yunhao Liu, and Lionel M. Ni. "VIRE: Active RFID-based localization using virtual reference elimination." *2007 International Conference on Parallel Processing (ICPP 2007)*. IEEE, 2007.
- [8] Bu, Kai, et al. "Less is more: Efficient RFID-based 3D localization." *2013 IEEE 10th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems*. IEEE, 2013.
- [9] Han, Jinsong, et al. "Improving accuracy for 3D RFID localization." *International Journal of Distributed Sensor Networks* 8.5 (2012): 865184.
- [10] BOUCHARD, Kevin et al. Accurate trilateration for passive RFID localization in smart homes. *International journal of wireless information networks*, v. 21, n. 1, p. 32-47, 2014.
- [11] HUYNH, Son Minh et al. Novel RFID and ontology based home localization system for misplaced objects. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 60, n. 3, p. 402-410, 2014.
- [12] Lucena Filho, Walfredo Costa, et al. "A Power Control and Anticollision Mechanism for RFID Systems." *IEEE Latin America Transactions* 15.10 (2017): 1933-1940.
- [13] Ruggiero, Márcia A. Gomes, and Vera Lúcia da Rocha Lopes. *Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais*. Makron Books do Brasil, 1997.