



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Localização 3D em sistemas RFID com leitor móvel

Eric da Silva Ferraz

Manaus – Amazonas

Outubro de 2018

Eric da Silva Ferraz

Localização 3D em sistemas RFID com leitor móvel

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica na área de concentração Controle e Automação de Sistemas.

Orientador: Prof. D.Sc. Celso Barbosa Carvalho

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

F381l Ferraz, Eric da Silva
Localização 3D em sistemas RFID com leitor móvel / Eric da Silva
Ferraz. 2018
75 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Celso Barbosa Carvalho
Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade
Federal do Amazonas.

1. Rssi. 2. Rfid. 3. Localização tridimensional. 4. Leitor móvel
Erro médio. I. Carvalho, Celso Barbosa II. Universidade Federal do
Amazonas III. Título

Eric da Silva Ferraz

Localização 3D em sistemas RFID com leitor móvel

Banca Examinadora

Prof. D.Sc. Celso Barbosa Carvalho
Presidente e Orientador

Prof. D.Sc. André Luiz Duarte Cavalcante

Prof. D.Sc. Edjair de Sousa Mota

Manaus – Amazonas

Outubro de 2018

Dedicatória.

*Dedico este trabalho às pessoas
mais presentes em minha vida:*

*Minha mãe, pela guerreira e
exemplo de vida que é.*

*Meu pai, que desde cedo me
mostrou o caminho da dedicação
e estudo.*

*Meus irmãos, Everton e Erily,
pelo incentivo direto ou indireto.
Minha companheira, Pâmela pelo
amor e dedicação durante este
período.*

Érica minha linda garotinha!!.

Agradecimentos

A presente dissertação de mestrado não poderia ter sido elaborada sem o apoio, estímulo e empenho de várias pessoas. A todos os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, a Deus que sempre guia meus passos. Aos meus pais, por me terem dado educação e valores, que muitas vezes renunciaram aos seus sonhos para que pudesse realizar o meu.

A meus irmãos que sempre estão ao meu lado e que sentiram a ausência do irmão mais velho durante este período.

A minha filha Érica, que chegou na minha vida no início desta jornada, e que motivou a ser uma pessoa melhor.

Ao Prof. D.Sc. Celso Barbosa Carvalho, meu orientador, pela amizade, pelo incentivo, pelas suas reflexões críticas e pela ajuda na revisão dos textos.

Ao SIDIA por apoiar seus funcionários na busca contínua por aperfeiçoamento.

Finalmente, gostaria de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Sonho que se sonha junto é realidade. Obrigado a TODOS!

Resumo da Dissertação apresentada à UFAM como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica

LOCALIZAÇÃO 3D EM SISTEMAS RFID COM LEITOR MÓVEL

Eric da Silva Ferraz

Orientador: Celso Barbosa Carvalho

Programa: Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Mecanismos para localização de objetos utilizando o sinal de RSSI (*Received Signal Strength Indication*) de etiquetas RFID (*Radio Frequency Identification*) tem sido bastante explorados, na grande maioria no plano bidimensional (2D), poucos são os trabalhos de localização tridimensional (3D). Neste trabalho adotamos uma matriz de etiquetas de referência reais (passivas) e etiquetas virtuais (etiquetas que não existem fisicamente). Adotamos um único leitor RFID móvel, desta forma reduzimos os custos de implementação do sistema. A mobilidade do leitor possibilita que este se movimente em todas as direções e consiga efetuar leituras em diferentes posições. Ao final das leituras o algoritmo proposto avalia a diferença entre o RSSI da etiqueta alvo e os RSSI das etiquetas da matriz de referência, buscando similaridades entre seus valores, retornando possíveis posições da etiqueta alvo (posições de etiquetas da matriz de referência que tem o RSSI com um valor de diferença entre zero até " x " dB quando comparados ao RSSI da etiqueta alvo). Em seguida o algoritmo avalia a diferença entre as coordenadas x , y e z das possíveis posições, identificando qual o eixo tem a maior diferença e efetua uma nova leitura movendo-se no eixo de maior diferença. Após esta nova leitura, a posição da etiqueta de referência com o RSSI mais próximo ao RSSI da etiqueta alvo é selecionada como posição estimada pelo sistema. Os experimentos realizados utilizando o ambiente simulado, demonstraram que a proposta obteve uma maior precisão, quando comparado com outros trabalhos (ganho de 46% comparando-se o Erro da solução proposta com o Erro de outras soluções).

Palavras-chave: RSSI; RFID; localização tridimensional; leitor móvel; erro médio.

Abstract of Dissertation presented to UFAM as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering

3D LOCALIZATION IN RFID SYSTEMS WITH MOBILE READER

Eric da Silva Ferraz

Advisor: Celso Barbosa Carvalho

Department: Postgraduate in Electrical Engineering

In this work we adopt an matrix of real reference tags (passive) and virtual tags (tags that do not exist physically). We use a single mobile RFID reader, in order to reduce the implementation costs. The mobility of the reader allows it to move in all directions and to be able to read in different positions. At the end of the readings the proposed algorithm evaluates the difference between the RSSI of the target tag and the RSSI of the reference matrix tags, looking for similarities between their values, returning possible positions of the target tag (tags positions of the reference matrix wich has the RSSI with a difference value between zero to " x " dB when compared to RSSI of the target tag). Then the algorithm evaluates the difference between the coordinates x , y , and z of the possible positions, identifying which axis has the largest difference. After that perform a new reading by moving the reader on the axis of greatest difference. The position of the reference tag with the RSSI closest to the RSSI of the target tag in this new reading is selected as the position estimated by the system. Experiments using the simulated environment demonstrated that the proposal was more accurate when compared to other studies (gain of 46 % comparing the Error of the proposed solution with the Error of other solutions).

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

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Organização da Dissertação	3
2	Fundamentos Teóricos	4
2.1	Tecnologia RFID	4
2.2	Interpolação Linear	12
3	Trabalhos Relacionados	17
4	Modelagem do ambiente de simulação	22
5	Proposta	29
6	Resultados	39
6.1	Resultados obtidos durante as simulações	39
6.2	Análise estatística dos dados	42
6.3	Métrica de avaliação	45
6.4	Considerações sobre o mecanismo proposto	47
7	Conclusão e Trabalhos Futuros	54
7.1	Conclusões	54
7.2	Trabalhos Futuros	55
	Referências Bibliográficas	56

Lista de Figuras

2.1	Sistema RFID Básico	5
2.2	Sistemas RFID de acordo com a classificação das etiquetas	8
2.3	Circuito simplificado etiqueta passiva	9
2.4	Acoplamento de retro espelhamento	10
2.5	Acoplamento indutivo	10
2.6	Acoplamento magnético	11
2.7	Acoplamento capacitivo	11
2.8	Representação interpolação polinomial (n=5)	13
2.9	Representação interpolação Linear	15
2.10	Definição do RSSI das etiquetas virtuais.	15
4.1	Posicionamento das etiquetas de referência e do leitor	23
4.2	Exemplo de posicionamento de etiquetas	25
4.3	Exemplo de posicionamento de etiquetas (16 Referência + 01Alvo)	26
4.4	Posicionamento das etiquetas virtuais	27
5.1	Exemplo 2D posicionamento etiquetas virtuais($n = 2$)	31
6.1	Intervalo de confiança do <i>Erro</i> encontrado nas simulações	41
6.2	Média de tempo dispendido em minutos	41
6.3	Gráfico de Boxplot do Erro médio (n)	42
6.4	Gráfico de Probabilidade Normal (n)	43
6.5	Limites de Controle dados estatísticos	44
6.6	Relatório Carta Controle $n=4$	46
6.7	Relatório Carta Controle $n=7$	47
6.8	Relatório Carta Controle $n=10$	48
6.9	Relatório Carta Controle $n=15$	49

6.10 Relatório Carta Controle $n=20$	50
6.11 Relatório Carta Controle $n=35$	51
6.12 Visualização de Modelos de Simulação	51
6.13 Estudo ocorrência de erros em ambientes simulados	52

Lista de Algoritmos

1	Algoritmo para interpolação linear	28
2	Algoritmo para identificação inicial de possíveis posições	35
3	Algoritmo para tomada de decisão	38

Lista de Tabelas

2.1	Faixas de frequências de operação RFID	6
2.2	Distância máxima de leitura para diferentes faixas frequências	7
2.3	Classes de etiquetas EPCglobal	12
2.4	Padrões ISO/IEC 18000	16
3.1	Resumo artigos de referência	21
4.1	Parâmetros e valores utilizados na simulação	24
4.2	Coordenadas das etiquetas de referência	24
4.3	Descrição das variáveis de entrada e saída do Algoritmo 1	27
5.1	Descrição das variáveis de entrada e saída do Algoritmo 2	30
5.2	Exemplo de Matriz de referência	33
5.3	Mapa de densidade	34
5.4	Valores de RSSI após movimentação no eixo de maior dúvida	36
6.1	Valores de n e quantidade de simulações	40
6.2	Resultado simulações	40
6.3	Comparação do <i>Erro</i> com artigos de referência	53

Lista de Abreviaturas

2D	<i>Espaço bidimensional</i>
3D	<i>Espaço tridimensional</i>
4G	<i>Quarta geração de telefonia móvel</i>
6LoWPAN	<i>IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks</i>
A.C.	<i>Antes de Cristo</i>
DCT	<i>Discrete Cosine Transform</i>
DFT	<i>Discrete Fourier Transform</i>
EPC	<i>Electronic Product Code</i>
FDX	<i>Full Duplex</i>
FET	<i>Field Effect Transistor</i>
FIR	<i>Finite Impulse Response</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HDX	<i>Half Duplex</i>
HF	<i>High Frequency</i>
IC	<i>Circuito Integrado</i>
ID	<i>Identificador</i>
IEC	<i>International Engineering Consortium</i>
IIR	<i>Infinite Impulse Response</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISM	<i>Industrial Scientific Medical</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization)</i>
LC	<i>Linha Central</i>
LF	<i>Low Frequency</i>
LIC	<i>Limite Inferior de Controle</i>
LSC	<i>Limite Superior de Controle</i>

MAC	<i>Media Access Control</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i>
PSO-BP	<i>Particle Swarm Optimization - Back Propagation</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
UHF	<i>Ultra-High Frequency</i>
UID	<i>Unique Identification</i>

Capítulo 1

Introdução

O uso da tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) tem aumentado tanto em aplicações industriais quanto na pesquisa científica [1]. RFID é uma forma mais eficiente de identificar objetos do que a convencional técnica do código de barras, vem se tornando popular em muitas aplicações, tais como vigilância, controle de acesso, prevenção de roubo e localização [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12]. Sistemas de localização são utilizados para identificar o posicionamento de indivíduos em um ambiente externo, como no caso do sistema de posicionamento global (GPS) [12]. Esta tecnologia não é eficiente em ambientes internos como por exemplo para localização de objetos em um estoque fabril ou a localização de pessoas dentro de um centro comercial, pois necessita de sinais proveniente de satélites. 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 os leitores fixados em locais conhecidos.

O algoritmo LANDMARC é uma das técnicas mais conhecidas de localização interna 2D baseado em etiquetas RFID ativas [2]. Quando este algoritmo localiza uma etiqueta alvo, compara seu valor de RSSI com o RSSI de etiquetas cuja a posição são conhecidas (etiquetas de referência). O aumento na quantidade de leitores aumenta a precisão do algoritmo, pois uma maior quantidade de leituras implica em uma quantidade de dados maior para a tomada de decisão, a posição estimada da etiqueta alvo passa a ser a posição da etiqueta de referência identificada pelo algoritmo que aparecer mais vezes (considerando as leituras de diferentes leitores), LANDMARC tem problemas de desempenho em um ambiente com a influência de

sinais de rádio (múltiplos caminhos), assim para obter uma melhor precisão é necessário o aumento da quantidade de etiquetas de referência o que é oneroso e também gera mais interferências de radiofrequência. De forma a aumentar a precisão (sem aumento do custo do sistema) o algoritmo VIRE adota o uso de etiquetas de referência virtuais para fornecer uma cobertura mais densa [3]. Etiquetas virtuais são etiquetas que não existem fisicamente, o valor de RSSI das etiquetas virtuais é encontrado a partir do RSSI das etiquetas de referência reais, utilizando interpolação linear. Cada leitor produz um mapa com os valores de RSSI das etiquetas de referência reais e virtuais.

Pesquisas evoluíram da localização bidimensional (2D) [2] [3] para localização tridimensional (3D) [7]. No seu trabalho intitulado "*Improving Accuracy for 3D RFID Localization*" [8] Jinsong Han et al utiliza leitores fixos com uma matriz de etiquetas ativas de referência e etiquetas virtuais para localização de objetos com uma etiqueta RFID (etiqueta alvo). Verificamos que nas pesquisas anteriores [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12], são utilizados vários leitores de RFID (mínimo de 04 leitores de referência) para proceder com a localização de objetos.

Neste trabalho adotamos uma matriz de etiquetas de referência reais e etiquetas virtuais baseada em VIRE. Foi necessária a adequação desta solução para o uso de etiquetas RFID passivas. Diferente dos trabalhos anteriores [2] [3] [7] [8], adotamos um único leitor RFID móvel, desta forma reduzimos os custos de implementação do sistema e conseguimos realizar a localização de etiquetas utilizando apenas um leitor (durante as simulações utilizamos 4 leituras ao redor do "ambiente simulado"). A mobilidade do leitor possibilita que este se movimente em todas as direções e consiga efetuar leituras em diferentes posições. Ao final das leituras o algoritmo proposto avalia a diferença entre o RSSI da etiqueta alvo e os RSSI das etiquetas da matriz de referência, buscando similaridades entre seus valores. Durante as simulações identificamos que nem sempre a localização da etiqueta da matriz de referência com o RSSI mais próximo ao RSSI da etiqueta alvo era a melhor escolha. Outras posições da matriz de referência que apresentaram valores de RSSI não tão próximos ao valor de RSSI da etiqueta alvo estavam posicionadas mais próximas a real posição da etiqueta alvo. Ao final das leituras de RSSI o mecanismo retorna possíveis posições da etiqueta alvo (posições de etiquetas da matriz de referência que tem o RSSI com

um valor de diferença entre zero até " x " dB quando comparados ao RSSI da etiqueta alvo). Após esta etapa foi implementado um algoritmo para tomada de decisão, o algoritmo de tomada de decisão avalia a diferença entre as coordenadas x , y e z das possíveis posições identificando qual o eixo tem a maior diferença, então move o leitor apenas no eixo de maior diferença e executa uma nova interação (medição do RSSI das etiquetas de referência identificadas como possíveis posições, medição do RSSI da etiqueta alvo e uma nova avaliação de proximidade), após esta nova avaliação a posição da etiqueta de referência com o RSSI mais próximo ao RSSI da etiqueta alvo é selecionada como posição estimada pelo sistema.

O mecanismo proposto foi implementado e validado utilizando um 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 outros trabalhos (Jinsong Han et al obteve um erro médio de 0.54m) [8]. O erro médio de localização encontrado no mecanismo proposto (0.37m) é bastante promissor levando-se em consideração que neste trabalho temos a intenção de localizar caixas de materias em um estoque fabril.

1.1 Organização da Dissertação

Esta dissertação apresenta-se dividida em seis capítulos. No **Capítulo 2**, são apresentados os fundamentos teóricos da tecnologia RFID e os conceitos para interpolação linear. No **Capítulo 3**, são apresentados alguns trabalhos relacionados com o tema, tais trabalhos oferecem relevantes contribuições para a pesquisa. O **Capítulo 4**, apresenta a modelagem do ambiente de simulação. O **Capítulo 5**, detalha o mecanismo proposto para localização de etiquetas passivas em ambientes 3D. Os resultados e a avaliação de desempenho são apresentados no **Capítulo 6**. Por fim, o **Capítulo 7** contém conclusões finais da dissertação.

Capítulo 2

Fundamentos Teóricos

Este capítulo apresenta a base teórica, conceitos e elementos utilizados para subsidiar esse estudo.

2.1 Tecnologia RFID

RFID significa "*Radio Frequency Identification*", um termo que descreve qualquer sistema de identificação em que um dispositivo eletrônico usa variações de rádio frequência ou campo magnético para se comunicar [13]. As origens dos sistemas RFID podem ser encontradas na Segunda Guerra Mundial quando os alemães aprimoraram o radar para diferenciar seus aviões das aeronaves inimigas. Os pilotos realizavam uma manobra de rolagem (alternar as asas em torno do eixo longitudinal do avião) quando retornavam à base, fazendo com que o sinal refletido tivesse sua amplitude alterada [14].

Um sistema RFID é sempre composto de dois componentes básicos [1], e está representado na Figura 2.1:

- Etiquetas (*Tags*) - posicionadas nos objetos a serem identificados;
- Leitores (*Readers*) - tem como objetivo identificar as etiquetas.

Etiquetas e leitores geralmente vivem em um mundo maior de armazenamento e manipulação de informações. Neste contexto Dobkin et al [14] considera que um leitor RFID pode ser encarado como apenas outro sensor, compartilhando sua po-

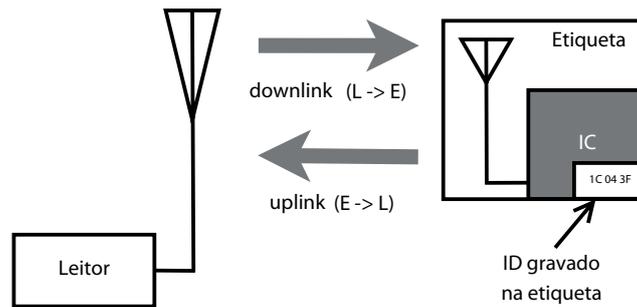


Figura 2.1: Sistema RFID Básico [14].

sição com *scanners* de código de barras, teclados, telas sensíveis ao toque e outros aparelhos de coleta de dados.

O espectro de frequência que os sistemas de RFID utilizam é dividido nas seguintes faixas [13]:

- LF (*low frequency* – baixa frequência);
- HF (*high frequency* – alta frequência);
- UHF (*ultra-high frequency* – ultra-alta frequência);
- Micro-ondas.

Detalhes sobre estas faixas de frequências podem ser observados na Tabela 2.1.

Como os sistemas de RFID transmitem ondas eletromagnéticas, eles são regulados como dispositivos de rádio. Estes sistemas não devem interferir em outros serviços tais como os de emergência ou transmissões de televisão.

Sistemas RFID operam em uma faixa não licenciada do espectro (Tabela 2.1), muitas vezes referida como ISM (*Industrial Scientific Medical - frequency range*) [13]. As faixas de frequência ISM são bandas reservadas internacionalmente para o desenvolvimento Industrial, científico e médico. Em 1985 o FCC (*Federal Communications Commission*), que é um órgão regulador da área de telecomunicações e radiodifusão fundado em 1934 nos Estados Unidos, desvencilhou parte do espectro de frequência para desenvolvimentos livres, sem a necessidade de licenciamento de utilização de frequência, e introduziu normas para limitação de potência de transmissão e técnicas de modulação dentro destas faixas. Este padrão foi internacionalmente difundido e adotado em diversos países. No Brasil a legislação para este tipo de sistema

foi inicialmente definida pela ANATEL, através da Norma 02/93, posteriormente pela Norma 012/96 (resolução 209 de Jan/2000) e atualmente pela resolução 305 de Jul/2002 – Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita. Os serviços de radiocomunicação operando nestas faixas de frequência devem aceitar a interferência prejudicial que possa resultar de dispositivos operando nesta mesma faixa de frequência. A confiabilidade das comunicações de dados não pode ser assegurada com técnicas simples, porque não existem restrições ao número de transmissores, nem existem protocolos definidos.

Frequências diferentes possuem características diferentes de propagação. Sinais de frequências mais baixas propagam melhor através da água e viajam maior distância, enquanto que as frequências mais elevadas podem transportar mais informações e possuem baixa degradação da informação transportada. A Tabela 2.2 mostra a distância máxima de leitura para as diferentes faixas de frequências e como elas têm sido utilizadas em diferentes aplicações [13].

Tabela 2.1: Faixas de frequências de operação RFID [13]

Nome	Faixa de Frequência	Frequências ISM
LF	30 - 300kHz	< 135kHz
HF	3 - 30MHz	6,78MHz; 13,56MHz; 27,125MHz; 40,680MHz
UHF	300MHz - 3GHz	433,92MHz; 869MHz; 915MHz
Micro-ondas	> 3GHz	2,45GHz; 5,8GHz; 24,125GHz

Frequentemente é vantajoso eliminar o transmissor de rádio e a bateria de uma etiqueta RFID para poupar dinheiro e espaço. A presença ou ausência destes componentes constitui a base de um segundo meio de classificação de sistemas RFID, baseada na fonte de alimentação e nas capacidades das etiquetas. A partir destes critérios as etiquetas podem ser classificadas de três maneiras [14]:

- Passivas - Não possuem fonte de energia própria para alimentar o circuito da etiqueta e seu transmissor. Elas dependem do sinal recebido do leitor para

Tabela 2.2: Distância máxima de leitura para diferentes faixas frequências [13]

Frequência	Distância máxima	Aplicações
LF	50 cm	Identificação de animais e leitura próxima de itens com alto conteúdo de água
HF	3 m	Controle de acesso
UHF	10 m	Caixas e paletes
Micro-ondas	> 10 m	Identificação de veículos

alimentação e transmissão do sinal refletido pela etiqueta (*backscatter*), tal como descrito na Figura 2.3 a seguir;

- Semi-passivas - Possuem uma bateria para alimentar o circuito da etiqueta, mas continuam a utilizar a potência refletida pela etiqueta (*backscattering*) para realizar a comunicação da etiqueta para o leitor (*uplink*). Ou seja, necessitam da energia do leitor para a transmissão de volta;
- Ativas - Possuem uma bateria que alimenta tanto o circuito da etiqueta como o seu transmissor, formando assim uma configuração convencional de um sistema de comunicação bidirecional.

Uma representação de sistemas RFID que possuem etiquetas passivas, semi-passivas e ativas podem ser vistos na Figura 2.2:

Normalmente as etiquetas passivas são as mais utilizadas [14]. Este tipo de etiqueta foi a escolhida nas simulações deste trabalho devido a facilidade de aquisição no mercado e ao seu baixo custo. A Figura 2.3, mostra o seu circuito simplificado.

Na Figura 2.3 a antena interage com o campo eletromagnético, produzindo uma tensão de alta frequência (RF). A tensão é retificada pelo diodo e filtrada pelo capacitor para gerar um sinal aproximadamente constante que é usado para alimentar a parte lógica e a memória do chip da etiqueta. A memória de uma etiqueta passiva é sempre não volátil (não há perda de dados caso a alimentação seja interrompida), pois a etiqueta está normalmente “desligada”.

Um circuito de retificação similar ao anterior é usado para demodular a informação enviada pelo leitor. Essa técnica é conhecida como detecção de envoltória ou detecção de envelope. Para transmitir a informação de volta ao leitor, a etiqueta

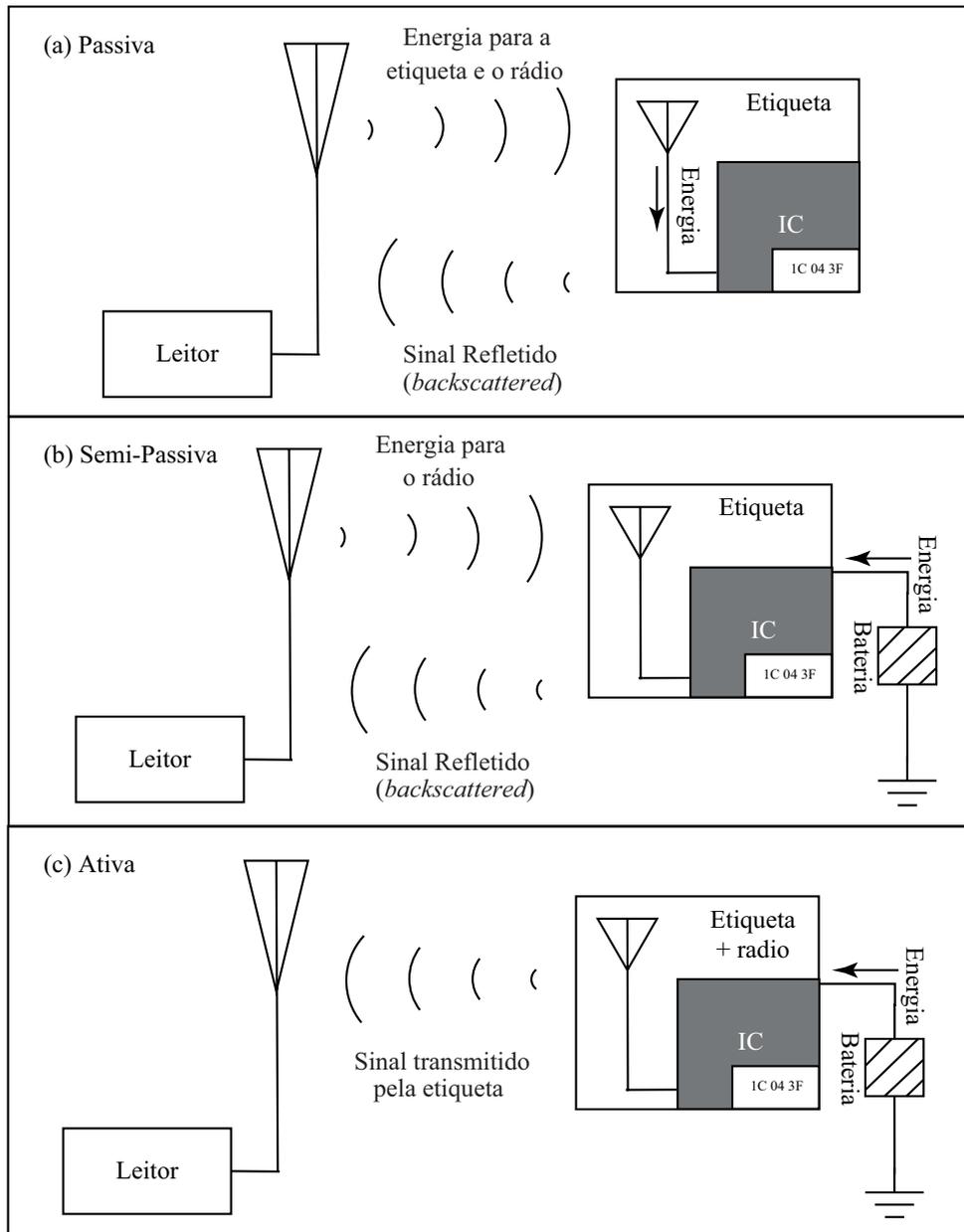


Figura 2.2: Sistemas RFID de acordo com a classificação das etiquetas [14].

altera as características elétricas da antena a fim de modificar o sinal refletido por ela, como se fosse um espelho sendo inclinado de acordo com o sinal a ser enviado. O transistor de efeito campo (FET) é utilizado como chave. Quando o FET está ligado, a antena é aterrada permitindo a passagem de uma corrente alta e quando o FET está desligado, a antena aumenta a impedância permitindo a passagem de uma corrente muito baixa.

O mecanismo de acoplamento de uma etiqueta determina a forma como um circuito na etiqueta e um circuito no leitor influenciam uns aos outros para enviar e

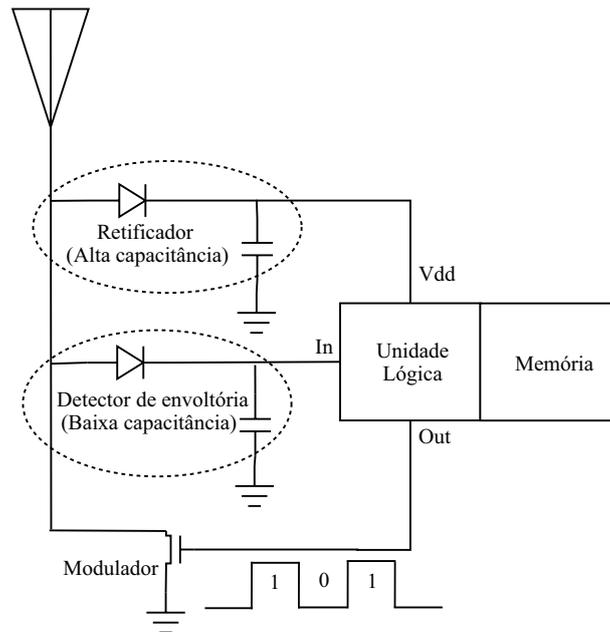


Figura 2.3: Circuito simplificado etiqueta passiva (*backscatter*) [14].

receber informação ou energia. O tipo de acoplamento que uma etiqueta usa afeta diretamente a faixa de leitura entre a etiqueta e o leitor [14]. Os diferentes tipos de acoplamento serão apresentados a seguir, a fim de contextualizar posteriormente sobre qual tipo de acoplamento de etiquetas foi o escolhido no desenvolvimento desta pesquisa:

- Acoplamento de retro espelhamento - (Acoplamento de longo alcance, distâncias superiores a 1m) Descreve a forma como as ondas RF transmitidas pelo leitor são espalhadas pela etiqueta. Isto é, as ondas são refletidas de volta para a fonte para enviar um sinal. Imagine o leitor como uma lanterna e a etiqueta como um espelho de sinalização com uma tampa, como mostrado na Figura 2.4;
- Acoplamento indutivo - (Acoplamento remoto, distância de 1cm a 1m) - Um leitor alimenta etiquetas acopladas indutivamente usando uma antena de bobina para gerar um campo magnético. O campo dirige a corrente através de uma bobina na etiqueta por indução, da mesma forma que um transformador transfere energia entre duas bobinas. Isso é ilustrado na Figura 2.5;
- Acoplamento magnético - (Acoplamento próximo, distância dentro de 1cm) - Similar ao acoplamento indutivo, o leitor e a etiqueta formam um par de

bobinas do transformador. A principal diferença é que a bobina do leitor em acoplamento magnético é um núcleo de ferrite redondo ou em forma de "u" com enrolamentos, como mostrado na Figura 2.6;

- Acoplamento capacitivo.- (Acoplamento próximo, distância dentro de 1cm)
 - Dispensa antenas e as substitui por eletrodos. O leitor e a etiqueta têm, cada um, terminais condutores que, em conjunto, formam um condensador quando mantidos exatamente paralelos entre si sem tocarem. Como mostra a Figura 2.7, o circuito criado é idêntico a um em que o leitor e a etiqueta estão conectados diretamente através de um capacitor e compartilham uma terra comum.

Neste trabalho utilizou-se o acoplamento de retro espalhamento. A possibilidade de se trabalhar com distâncias superiores a 1m foi decisiva nesta tomada de decisão, uma vez que somente este tipo de acoplamento atende as distâncias consideradas no ambiente simulado.

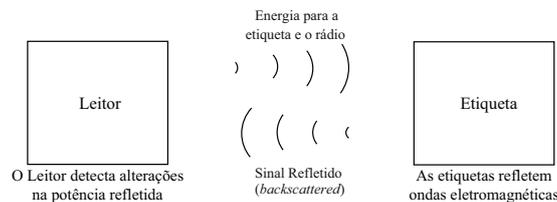


Figura 2.4: Acoplamento de retro espalhamento [13].

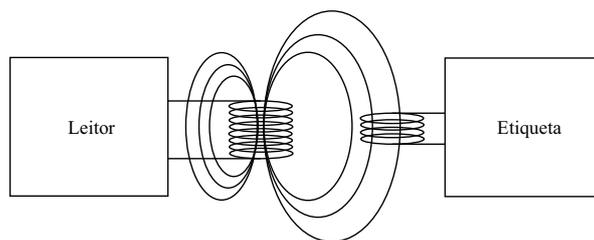


Figura 2.5: Acoplamento indutivo [13].

As duas principais organizações de padronização de sistemas RFID são a ISO (*International Organization for Standardization*) e a EPCglobal [15]. A EPCglobal é responsável por criar e controlar o número de identificação único (UID) em cada etiqueta produzida no mundo, que é conhecido como EPC (*Electronic Product*

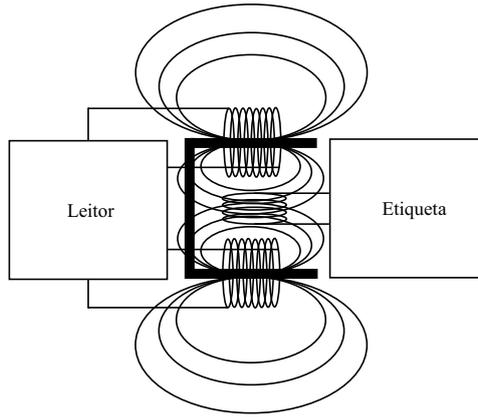


Figura 2.6: Acoplamento magnético [13].

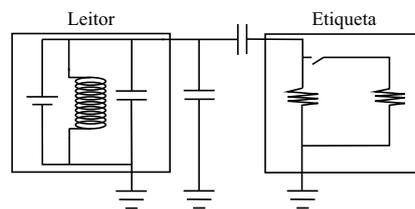


Figura 2.7: Acoplamento capacitivo [13].

Code) [15]. Esse código possibilita identificar o fabricante, o tipo de produto, o número de série e outras informações necessárias para o rastreamento em uma cadeia produtiva. A Tabela 2.3 mostra as diferentes classificações de etiquetas reconhecidas pela EPCglobal.

As ISO 15693 e ISO 14443 padronizam as etiquetas HF. O padrão EPCglobal Gen 2 foi adotado como padrão global ISO 18000-6C. O ISO 18000-7 é utilizado como padrão internacional para etiquetas ativas operando em 433 MHz. A norma ISO 18000-6 é um padrão internacional que especifica a maneira que os leitores e as etiquetas se comunicam na faixa de UHF. Atualmente existem três versões do padrão: 18000-6A, 18000-6B e 18000-6C. Sendo a 18000-6C a mais utilizada. A Tabela 2.4 lista os padrões ISO 18000.

Nas simulações desta pesquisa, foram utilizadas etiquetas RFID Classe 0 (tipo de etiqueta com menor custo) e um leitor móvel, ambos trabalhando na faixa de frequência de UHF (928MHz). O Acoplamento utilizado foi o retro espelhamento (*backscatter*). Conforme explicado anteriormente esta configuração foi a escolhida por atender as distâncias do sistema proposto nas simulações e devido ao seu baixo custo de implementação.

Tabela 2.3: Classes de etiquetas EPCglobal [13].

Classe	Descrição
Classe 0	Passiva, somente leitura
Classe 0+	Passiva, escrita única mas utilizando protocolos da Classe 0
Classe I	Passiva, escrita única
Classe II	Passiva, escrita única com adicionais como criptografia
Classe III	Regravável, semi-passiva (chip alimentado por bateria, leitor alimentado pela transmissão), sensores integrados.
Classe IV	Regravável, ativa, "dois sentidos", etiquetas podem conversar com outras etiquetas, alimenta suas próprias transmissões
Classe V	Alimenta e lê etiquetas Classe I, II e III e lê etiquetas Classe IV e V, bem como elas mesmas atuando como etiquetas Classe IV

2.2 Interpolação Linear

Na antiguidade, a astronomia resumia-se a manutenção do tempo e fazer previsões sobre eventos astronômicos. Isto servia a importantes necessidades práticas: os agricultores, por exemplo, baseavam as suas estratégias de plantação nestas previsões. Para este fim, era de grande importância manter listas chamadas efemérides das posições do sol, da lua e dos planetas conhecidos para intervalos de tempo regulares. Obviamente, essas listas continham lacunas, devido a condições atmosféricas que dificultavam a observação ou ao fato de que os corpos celestes podem não ser visíveis durante certos períodos. A partir dos seus estudos de efemérides encontrados em antigas tabelas de cuneiformes astronômicas originárias de Uruk e Babilônia no período selêucida (os últimos três séculos a.C.), o historiador matemático Neugebauer concluiu que a interpolação foi usada para preencher essas lacunas. Além da interpolação linear, as tabelas também revelaram o uso de métodos de interpola-

ção mais complexos. No entanto, formulações precisas destes últimos métodos não sobreviveram [16].

O problema de construir uma função definida continuamente a partir de dados discretos é encontrado sempre que se deseje manipular os dados de uma forma que exija informação não incluída explicitamente nos dados. Nesta época de crescente digitalização no armazenamento, processamento, análise e comunicação de informações, não é difícil encontrar exemplos de aplicações onde esse problema ocorre [16].

Interpolar uma função $f(x)$ consiste em aproximar essa função através de uma outra função $g(x)$, escolhida entre uma classe de funções que a priori satisfaça algumas propriedades. A função $g(x)$ é então utilizada em substituição à função $f(x)$ [17]. Na prática interpolação é um método no qual instanciamos um novo conjunto de dados utilizando interpolação polinomial visando construir novos pontos de dados no alcance de pontos já conhecidos.

Na Figura 2.8 observa-se ver uma definição gráfica do conceito de interpolação [17]:

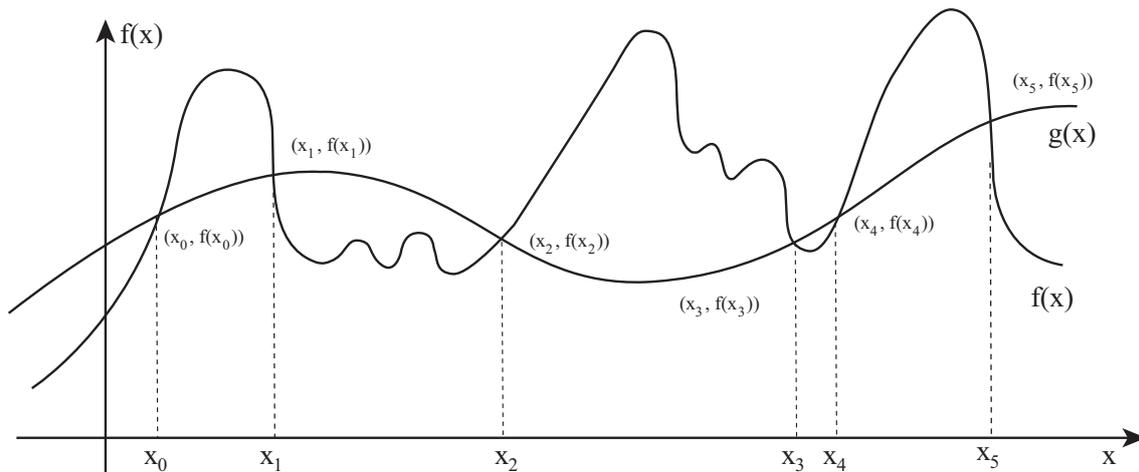


Figura 2.8: Representação interpolação polinomial ($n=5$) [17].

Dada uma função $f(x)$ com os pontos $f(x_0), f(x_1), \dots, f(x_n)$ pode-se aproximar $f(x)$ por um polinômio $p_n(x)$ de grau menor ou igual a n , tal que:

$$f(x_k) = p_n(x_k) \forall k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

De forma a encontrar um $p_n(x)$ que satisfaça estas condições representa-se $p_n(x)$ como:

$$p_n(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (2.2)$$

A partir da Equação 2.1, tem-se o seguinte sistema linear (com $n + 1$ equações e $n + 1$ variáveis):

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0 + a_1x_0 + a_2x_0^2 + \dots + a_nx_0^n = f(x_0) \\ a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + \dots + a_nx_1^n = f(x_1) \\ \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\ \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\ \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\ a_0 + a_1x_n + a_2x_n^2 + \dots + a_nx_n^n = f(x_n) \end{array} \right. \quad (2.3)$$

A matriz A dos coeficientes é uma matriz de Vandermonde e, portanto desde que x_0, x_1, \dots, x_n sejam pontos distintos, tem-se que o $\det(A) \neq 0$, portanto o sistema linear admite uma solução única.

Existem várias formas para se obter o polinômio $p_n(x)$ como por exemplo:

- Resolução de sistema linear;
- Interpolação de Lagrange;
- Interpolação de Newton.

A interpolação linear é um caso especial da interpolação polinomial ($n = 1$). Dados os pontos (x_0, y_0) e (x_1, y_1) , a interpolante linear é a linha entre os dois pontos. Para um valor x no intervalo (x_0, x_1) , tem-se um valor y no intervalo (y_0, y_1) com a seguinte relação:

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (2.4)$$

Representado graficamente na Figura 2.9

Resolvendo-se y com relação a termos de x tem-se:

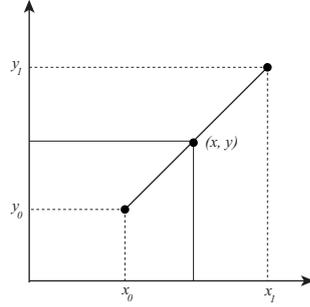


Figura 2.9: Representação interpolação Linear [17].

$$y = y_0 + (y_1 - y_0) \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \quad (2.5)$$

A Equação 2.5 (a qual define a interpolação linear entre um intervalo (x_0, x_1)) foi utilizada nas simulações para encontrar o valor de RSSI das etiquetas virtuais posicionadas no sistema. Conforme esquema da Figura 2.10 conhecendo-se os valores de RSSI das etiquetas de referência ($RSSIRef_1$ e $RSSIRef_2$) e as suas respectivas distâncias ao leitor ($DistRef_1$ e $DistRef_2$) é possível inferir o valor de RSSI da etiqueta virtual ($RSSIVirt$) a partir da distância entre esta e o leitor ($DistVirt$).

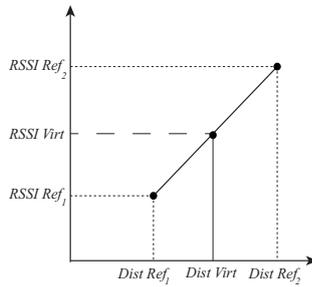


Figura 2.10: Definição do RSSI das etiquetas virtuais.

Aplicando a interpolação linear na Figura 2.10 temos:

$$RSSIVirt = RSSIRef_1 + (RSSIRef_2 - RSSIRef_1) \frac{DistVirt - DistRef_1}{DistRef_2 - DistRef_1} \quad (2.6)$$

Tabela 2.4: Padrões ISO/IEC 18000 [13].

Padrão	Título	Descrição
18000-1	Parâmetros genéricos para a interface aérea de frequências globalmente aceitas	Princípios e arquitetura para o padrão RFID
18000-2	Parâmetros para as comunicações aéreas abaixo de 135 kHz	LF, dois tipos de etiquetas, anti-colisão opcional Etiqueta tipo A: FDX 125 kHz Etiqueta tipo B: HDX 134,2 kHz Passiva, acoplamento indutivo
18000-3	Parâmetros para as comunicações aéreas em 13,56 MHz	HF, dois modos (ambos exigem uma licença proprietário do IP) Modo 1: 105,94 kbps da etiqueta para o leitor Modo 2: 423,75 kbps da etiqueta para o leitor Passiva, ambos utilizam acoplamento indutivo, FDX
18000-4	Parâmetros para as comunicações aéreas em 2,45 GHz	Micro-ondas, dois modos Modo 1: Passivo Modo 2: Semi-passivo, etiquetas falam primeiro Passiva, <i>backscatter</i> , HDX
18000-5	Retirada	Retirada (transferida para faixa 5,8 GHz)

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

Nesta seção, apresentamos alguns trabalhos relacionados com o tema desta proposta, tais trabalhos ofereceram relevantes contribuições para a pesquisa. Há vários estudos na literatura acadêmica relacionados a área de localização de etiquetas RFID [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]. O resumo de alguns destes trabalhos é apresentado na Tabela 3.1. Além da identificação, as etiquetas RFID também podem facilitar a localização de objetos usando seus sinais de RF. No desensolvimento de soluções de localização utilizando sistemas RFID, LANDMARC [2] é um dos trabalhos pioneiros. LANDMARC [2] introduz o conceito de etiquetas de referência, algumas etiquetas são estrategicamente posicionadas (posição e RSSI conhecidos) no ambiente (uma etiqueta posicionada em cada vértice de um quadrado por exemplo). Estas etiquetas passam a ser conhecidas como etiquetas de referência, e a partir das informações destas é possível criar um mapa de localização das etiquetas de referência. LANDMARC utiliza quatro etiquetas de referência que estão posicionadas em torno da etiqueta anexada ao objeto-alvo que se almeja conhecer a posição. O RSSI recebido pelo leitor e originado pela etiqueta anexada ao objeto-alvo é comparado com os valores de RSSI recebido das etiquetas de referência. A posição da etiqueta anexada ao objeto-alvo é inferida utilizando-se a posição da etiqueta de referência com valor de RSSI mais próximo. Mais tarde, VIRE [3] propõe um método de melhoria com base em LANDMARC. Em VIRE, também são utilizadas quatro etiquetas de referência (posição e RSSI conhecidos), porém VIRE adiciona ao mapa de localização algumas etiquetas que ele chama de virtuais, etiquetas virtuais não existem fisicamente. A partir das informações de RSSI e da localização das etiquetas de referência VIRE

sugere que utilizando interpolação linear é possível imaginar qual seria o RSSI de uma etiqueta posicionada entre duas etiquetas de referência.

Exemplo: Em um mapa de etiquetas de referência temos a Etiqueta_1 posicionada em (0,0) e uma Etiqueta_2 posicionada em (2,0) com RSSI's de 40dB e 60dB respectivamente, a partir destas informações, utilizando interpolação linear pode-se supor que uma etiqueta que esteja na posição (1,0) teria um RSSI de 50dB. Mesmo não existindo fisicamente, as etiquetas virtuais são posicionadas no mapa de referência de forma a diminuir a distância entre duas etiquetas no mapa de referência diminuindo, assim, o erro na localização das etiquetas anexadas aos objetos alvo.

O trabalho de Jinsong Han et al [8] estende a solução proposta em VIRE para o plano 3D. Através do RSSI das etiquetas de referência e por meio de interpolação linear encontra-se o valor de RSSI das etiquetas virtuais posicionadas nas três dimensões. Jinsong sugere a criação de um mapa de densidade (gerado através do RSSI das etiquetas de referência + RSSI das etiquetas virtuais) e através da leitura do RSSI da etiqueta alvo consegue-se uma localização no mapa de densidade.

Kai Bu et al. [7] propõem duas soluções, uma para etiquetas passivas e uma para etiquetas ativas:

- O esquema passivo localiza uma etiqueta alvo usando os leitores e etiquetas de referência posicionados em locais conhecidos no teto ou no chão. Distâncias da etiqueta alvo para os leitores de referência não são estimados com base em medições da intensidade do sinal de rádio. Ao invés disso, o esquema passivo explora níveis de potência de transmissão dos leitores. Para o leitor de referência (r_r) estimar a distância para a etiqueta alvo (t_t), o leitor (r_r) lê todas as etiquetas até ele encontrar a etiqueta alvo (t_t), caso não encontre, o leitor (r_r) aumenta o nível de potência de transmissão em 1dB, este procedimento é repetido até que o leitor encontre a etiqueta alvo. Fazendo T_i ($1 \leq i \leq l$) denotar o conjunto de etiquetas lidas pelo leitor (r_r) no nível de potência de transmissão " i ". A distância da etiqueta alvo (t_t) para o leitor (r_r) é estimada pela média das distâncias do leitor (r_r) para as etiquetas de referência. O esquema passivo localiza a etiqueta alvo (t_t) com a estimativa de local que pode minimizar a diferença entre as estimativas de distância e distâncias calculadas.
- O esquema ativo localiza um leitor alvo usando etiquetas de referência posi-

cionadas em locais conhecidos, tanto no teto como no chão. Estimativas de distância do leitor alvo para as etiquetas de referência não são necessárias. Para obter as localizações das etiquetas de referência, o leitor alvo ajusta sua potência de transmissão até um nível alto o suficiente para que as etiquetas de referência sejam ativadas (lidas). Fazendo R_c (ou R_f) representar o raio da região de comunicação do leitor-alvo no teto (ou piso). O esquema ativo estima R_c (ou R_f) e as coordenadas x, y de tal modo que pode minimizar a diferença entre o R_c (ou R_f) e os raios calculados (ex., distâncias entre (x, y) e borda dos nós ativos). O esquema ativo, então estima a coordenada z da seguinte forma:

$$z^2 + R_f^2 = (H - z)^2 + R_c^2 = R^2 \quad (3.1)$$

Colocando-se z em evidência temos:

$$z = \frac{R_c^2 - R_f^2 + H^2}{2H} \quad (3.2)$$

O sistema de localização proposto por Changzhi Wang et al. [4] contém quatro partes. A primeira parte é uma coleta de informações dos sinais das etiquetas (RSSI) do sistema, a segunda parte efetua o pré-processamento dos valores RSSI recebidos, na terceira parte os dados são normalizados para o intervalo $[0, 1]$ de forma a reduzir a influência do intervalo de dados de entrada na convergência do sistema e erro do modelo, a parte final utiliza os dados coletados para treinar o PSO-BP (*Particle Swarm Optimization-Back Propagation*) proposto, de forma a estabelecer os parâmetros iniciais do sistema.

Após análise dos artigos de referência verificou-se que a grande totalidade utiliza vários leitores fixos (quanto maior a quantidade de leitores maior 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 móvel (leitor móvel é aquele que por ter uma bateria interna pode se movimentar livremente, alguns modelos também podem

trabalhar em conjunto/anexados a celulares). Até então não foi encontrado na literatura uma solução que empregue o conceito de etiqueta virtual aliado a um único leitor móvel para identificação de objetos a partir do seu RSSI em um ambiente 3D. Utilizando a ferramenta Google acadêmico, efetuou-se pesquisas sobre a utilização de leitores móveis em sistemas RFID. Além do artigo "Localização 3D em sistemas RFID com leitor móvel" [18] trabalho de minha autoria publicado durante a minha pesquisa, foram encontradas as seguintes referências (publicações a partir do ano de 2017):

- *Rfid location systems and methods* [19] - Patente que descreve métodos para localização utilizando RFID, os métodos descritos utilizam uma combinação de leitores fixos e móveis;
- *Compact design of UHF RFID and NFC antennas for mobile phones* [20] - Design de um tipo compacto de antena UHF RFID e NFC para telefones móveis;
- *Utilization of motion and spatial identification in mobile RFID interrogator* [21] - Patente que descreve um método de como utilizar a identificação espacial e o movimento de etiquetas para identificar se uma etiqueta está em movimento em relação ao leitor ou se está dentro de um espaço definido;
- *Tag localization in a two-dimensional RFID tag matrix* [22] - Método para localização baseado em RFID que estima os índices de linha e coluna de etiquetas que são espalhadas em uma matriz bidimensional usando o movimento de um leitor de RFID. O método proposto não utiliza etiquetas de referência, o movimento do leitor identifica alterações no RSSI das etiquetas em operas;’oes repetidas de leitura, e com base nestas alterações, o método proposto estima posições relativas de etiquetas em uma matriz de etiquetas.

Foram encontradas outras referências, porém na grande totalidade descrevem como identificar etiquetas em movimento [23] [24].

Com base nesta pesquisa entendemos que ainda não foram propostas soluções baseadas em leitores móveis para localização de etiquetas RFID, portanto podemos afirmar que o método proposto nesta pesquisa difere de outras soluções existentes.

Tabela 3.1: Resumo artigos de referência

Título	Tipo de etiqueta	Plano	Qtd. de leitores	Sistema de referência
LANDMARC: indoor location sensing using active RFID	Ativa	2D	4	Etiq. refer. + Leitores de refer.
VIRE: Active RFID-based localization using virtual reference elimination	Ativa	2D	≥ 2	Etiq. refer. + Etiq. Virtuais
Less is More: Efficient RFID-based 3D Localization	Ativa / Passiva	3D	≥ 4	Etiq. refer. + Leitores de refer.
Improving Accuracy for 3D	Ativa	3D	4	Etiq. refer. + Etiq. Virtuais
Indoor positioning technique by combining RFID and particle swarm optimization-based back propagation neural network	Ativa	2D	4	Etiq. refer. + Leitores de refer.
Indoor location tracking using received signal strength indicator	Ativa	2D	1	Etiq. refer. + Leitores de refer.
A New RSSI-based Centroid Localization Algorithm by Use of Virtual Reference Tags	Ativa	2D	4	Etiq. refer. + Leitores de refer.

Capítulo 4

Modelagem do ambiente de simulação

Este capítulo apresenta detalhes da construção do ambiente de simulação elaborado para validar o mecanismo proposto neste trabalho. Como por exemplo o funcionamento da matriz de referência utilizada para inferir o posicionamento de objetos em um ambiente 3D, a relação entre o RSSI de etiquetas de referência e o RSSI das etiquetas ditas virtuais e finalmente o valor de todas as variáveis de sistema utilizadas.

Para validar o mecanismo proposto neste trabalho, optou-se pela simulação utilizando o simulador Matlab, um software interativo de alto desempenho voltado para o cálculo numérico.

Foi implementada no Matlab a simulação de uma matriz 3D com 3m de largura, 3m de comprimento e 4m de altura (simulando um armário utilizado para estocagem de produtos) com etiquetas RFID de referência (etiquetas de referência = etiquetas cuja posição são conhecidas) posicionadas estrategicamente nos oito vértices, e um leitor cuja posicionamento pode variar em torno do ambiente simulado (armário para estocagem). No exemplo da Figura 4.1 adotou-se a posição do leitor como (0,0,0). Em um ambiente de simulação real o primeiro passo seria a determinação da distância entre o leitor e as etiquetas de referência. Isto é feito com o leitor executando medições de RSSI e, a partir destas medições, estima-se tais distâncias. No entanto em um ambiente simulado, é necessário um passo anterior a determinação do RSSI. No ambiente simulado a potência refletida pelas etiquetas (P_{rx}) pode ser

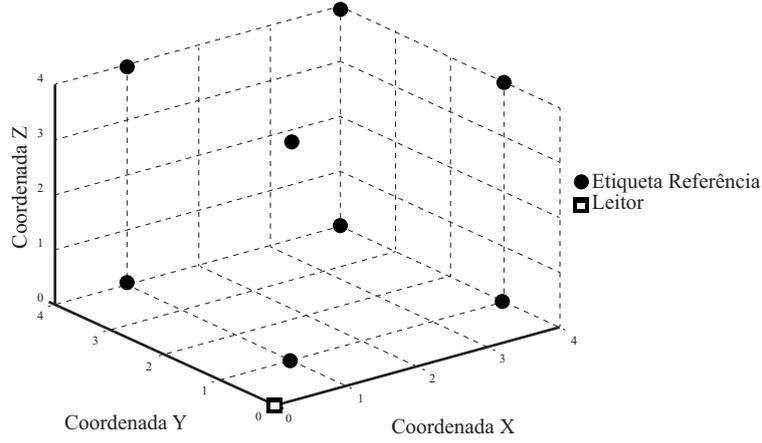


Figura 4.1: Posicionamento das etiquetas de referência e do leitor

determinado pela Equação de Friis 4.1 [14]. A Equação de Friis é um modelo de propagação no espaço livre utilizado para prever o sinal recebido quando não há nenhum obstáculo entre o emissor e o receptor (espaço livre). Tal equação é válida para antenas isotrópicas e para regiões de campos afastado (região de Fraunhofer), a distância entre as antenas deve ser maior que o comprimento de onda emitido. Tais considerações foram levadas em consideração quando da elaboração do ambiente simulado.

$$P_{rx} = \frac{P_{tx} \cdot k \cdot G_{leitor}^2 \cdot G_{etiqueta}^2 \cdot \lambda}{(4 \cdot \pi \cdot d)^4} \quad (4.1)$$

Onde: P_{tx} é a potência transmitida pelo leitor, G_{leitor} é o ganho da antena do leitor, $G_{etiqueta}$ é o ganho da antena da etiqueta, λ é o comprimento de onda na faixa de 900MHz(frequência utilizada em sistemas RFID), k é a perda de transmissão *backscattered* e d a distância entre as antenas [25] [26] [27]. Os valores destas variáveis utilizados na simulação estão na Tabela 4.1 [14].

Como visto na Equação 4.1 para determinação do valor de RSSI é necessário conhecer a distância entre o leitor e a etiqueta que está sendo medida, na simulação no Matlab isso pode ser feito supondo que conhecemos a posição do leitor (esta informação não seria necessária em um experimento real, visto que no experimento real o valor de RSSI é informado diretamente pelo leitor).

A Tabela 4.2 identifica as coordenadas das etiquetas de referência.

A partir das coordenadas de posição da etiqueta de referência e do leitor é possível

Tabela 4.1: Parâmetros e valores utilizados na simulação

Parâmetro	Valor
Ptx	30 dBm
Gleitor	1
Getiqueta	1
λ	0.3125
k	0.33

Tabela 4.2: Coordenadas das etiquetas de referência

Nº Etq. Referência	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
1	1	1	0
2	1	4	0
3	4	1	0
4	4	4	0
5	1	1	4
6	1	4	4
7	4	1	4
8	4	4	4

encontrar as distâncias entre eles, utilizando a Equação 4.2:

$$d = \sqrt{(x_{ref} - x_{leitior})^2 + (y_{ref} - y_{leitior})^2 + (z_{ref} - z_{leitior})^2} \quad (4.2)$$

Onde: X_{ref} , Y_{ref} e Z_{ref} são as coordenadas da etiqueta de referência e $X_{leitior}$, $Y_{leitior}$ e $Z_{leitior}$ são as coordenadas do leitor.

Observa-se que, se outros fatores do ambiente (ex.: reflexões, interferências) permanecem inalterados, uma etiqueta anexada ao objeto-alvo (objeto que se quer localizar) colocada na mesma posição de uma etiqueta de referência apresentará RSSI semelhante ao de uma etiqueta de referência [3]. Portanto, o RSSI de uma etiqueta anexada ao objeto-alvo pode ser estimado caso sua posição seja suficientemente pró-

xima a uma etiqueta cuja posição já é conhecida. Para potencializar esta situação Jinsong Han et al [8] utiliza etiquetas virtuais (conforme explicado anteriormente etiquetas virtuais não existem fisicamente) sem aumentar o número real de leitores ou etiquetas de referência para rastrear etiquetas anexadas ao objeto-alvo no ambiente simulado. Os valores de RSSI e as coordenadas das etiquetas virtuais são então calculadas com base nas informações das etiquetas de referência (aplicando-se interpolação linear). Em nossa abordagem, etiquetas virtuais também são utilizadas. As etiquetas virtuais são utilizadas para diminuir o espaçamento entre as etiquetas da matriz de referência, sem um aumento do custo do sistema proposto. De forma simples imaginando primeiramente uma solução em 2D, conforme Figura 4.2, quatro etiquetas de referência foram posicionadas nos vértices de um quadrado $1m \times 1m$ $((0,0);(0,1);(1,0);(1,1))$ e uma etiqueta anexada ao objeto está posicionada em $(0.5,0.5)$. Com isso a etiqueta anexada ao objeto-alvo estaria equidistante as etiquetas de referência. O sistema proposto procura identificar qual etiqueta de referência tem o RSSI mais próximo ao RSSI da etiqueta anexada ao objeto. Neste caso em específico independente da escolha final do sistema proposto o erro (diferença entre a posição real da etiqueta anexa ao objeto-alvo e a posição inferida pelo sistema) será exatamente o mesmo. Isto acontece pois a etiqueta anexada ao objeto está equidistante das etiquetas de referencia, em outras palavras, independente da escolha do mecanismo proposto, a diferença entre a posição da etiqueta alvo e qualquer uma das etiquetas de referência será exatamente a mesma.

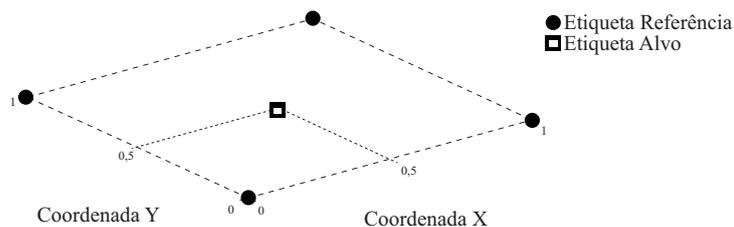


Figura 4.2: Exemplo de posicionamento de etiquetas

Adicionando-se 2 etiquetas de referência entre outras duas já existentes (equidistante) teríamos uma matriz de referência 4×4 conforme Figura 4.3. Mantendo-se a etiqueta anexada ao objeto-alvo na mesma posição $(0.5,0.5)$, devido a redução na grade da matriz de referência, agora existem etiquetas mais próximas a etiqueta anexada ao objeto-alvo, com isso o erro do sistema proposto (diferença entre a posição

estimada pelo sistema e a real posição da etiqueta anexada ao objeto-alvo) passaria a ser menor. Porém, o aumento de etiquetas de referência significa aumento nos custos de implementação da solução. Por conta disto VIRE [3] sugere o uso de etiquetas virtuais.

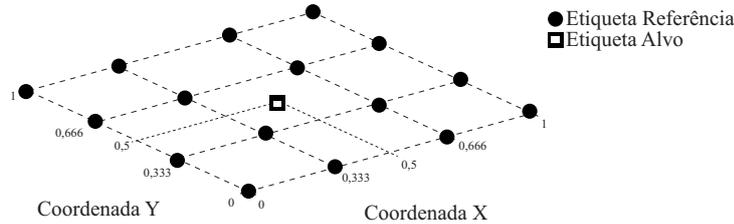


Figura 4.3: Exemplo de posicionamento de etiquetas (16 Referência + 01Alvo)

O método de determinação de RSSI das etiquetas virtuais é semelhante a [8]. De acordo com VIRE, " n " etiquetas virtuais podem ser posicionadas com igual espaçamento entre duas etiquetas de referência adjacentes. Os valores de RSSI das etiquetas virtuais em ambas as direções (vertical e horizontal) podem ser calculados executando-se um algoritmo de interpolação linear. Inserindo-se " n " etiquetas entre duas etiquetas de referência adjacentes, uma matriz $(n + 2) \times (n + 2)$ de etiquetas é obtida. Em um espaço tridimensional fazendo $n = 2$ por exemplo, teremos duas etiquetas virtuais posicionadas entre 2 etiquetas de referência, como apresentado na Figura 4.4.

O Algoritmo 1 desenvolvido no ambiente simulado proposto, apresenta os passos para determinação do RSSI das etiquetas virtuais a partir da interpolação linear das informações de RSSI e distância das etiquetas de referência. Este Algoritmo necessita de seis informações de entrada e uma saída conforme descrito na Tabela 4.3:

Primeiramente, o Algoritmo 1 nas linhas que representam as entradas de dados (linhas de 1 a 4), executa a leitura: 1) da posição das etiquetas de referência ($ReferenceTagPos$ que é determinado previamente na solução proposta), 2) da posição do leitor ($ReaderPosition$), 3) da quantidade de etiquetas referência

Tabela 4.3: Descrição das variáveis de entrada e saída do Algoritmo 1

Tipo	Variável	Descrição
Entradas	$ReferenceTagPos$	Posição das etiquetas de referências
	n	Quantidade de etiquetas virtuais entre duas etiquetas reais
	$VirtTagPos$	Posição das etiquetas virtuais
	$RSSIRealTag$	RSSI das etiquetas de referência
	$ReferenceTagQty$	Quantidade de etiquetas de referências
	$ReaderPosition$	Posição do leitor
Saída	$RSSIVirtualTag$	RSSI estimado das etiquetas virtuais

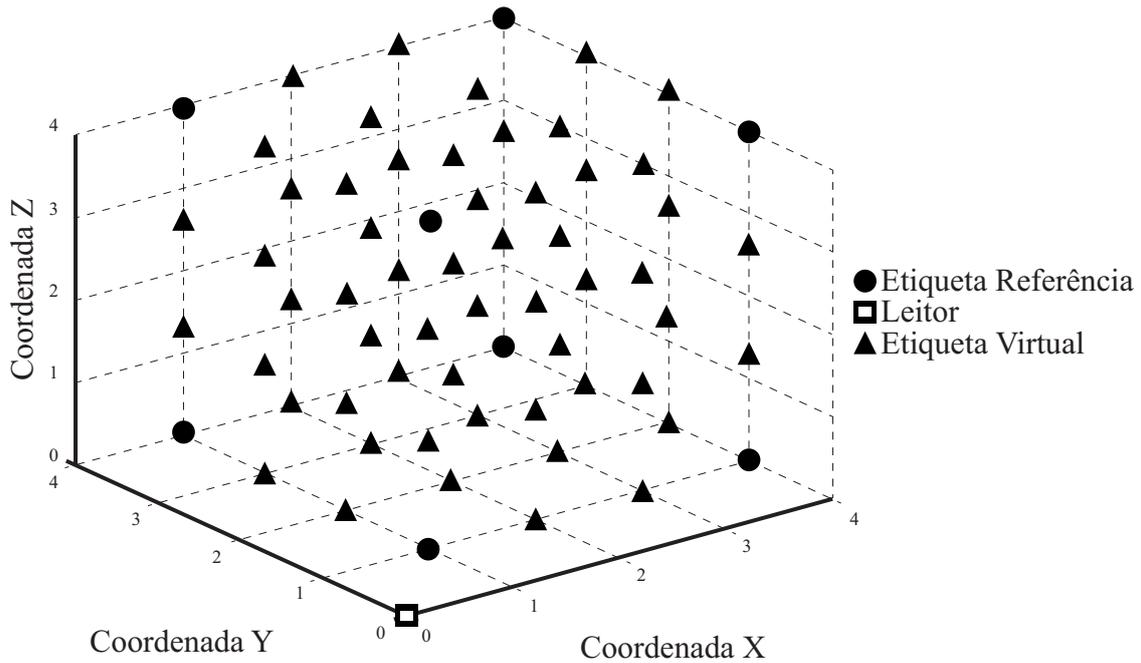


Figura 4.4: Posicionamento das etiquetas virtuais

($ReferenceTagQty$), 4) do valor de " n " (quantidade de etiquetas virtuais entre duas de referência adjacentes). Em seguida, na linha 5, o algoritmo executa o cálculo da quantidade total de etiquetas virtuais necessárias para compor a matriz de referência do sistema ($TotalVTags$). Na linha 6 efetua o posicionamento das etiquetas virtuais ($VirtTagPos$). O algoritmo proposto posiciona as novas etiquetas garantindo

Algoritmo 1 Algoritmo para interpolação linear

Entrada: $ReferenceTagPos; n; VirtTagPos; RSSIRefTag$

Entrada: $ReferenceTagQty; ReaderPosition$

Saída: $RSSIVirtualTag$

- 1: $ReferenceTagPos \leftarrow [(x_1y_1z_1); (x_2y_2z_2); \dots; (x_8y_8z_8)];$
 - 2: $ReaderPosition \leftarrow (x_R, y_R, z_R);$
 - 3: $ReferenceTagQty \leftarrow RefTagQty;$
 - 4: $n \leftarrow n_{Value};$
 - 5: $TotalVTags \leftarrow ((n + 2)^2 - 4) * 2 + ((2 + n)^2) * n;$
 - 6: $VirtTagPos \leftarrow Posicionamento\ de\ acordo\ com\ valor\ de\ n;$
 - 7: **para** 1 : $ReferenceTagQty$ **faça**
 - 8: $distancia(i) \leftarrow Distancia [ReaderPosition \times ReferenceTagPos(i)];$
 - 9: $RSSIRefTag(i) \leftarrow Aplicacao\ da\ equacao\ de\ Friis\ em\ distancia(i);$
 - 10: **para** 1 : $TotalVtags$ **faça**
 - 11: $distancia_v(i) \leftarrow Distancia[ReaderPosition \times VirtTagPos(i)];$
 - 12: $RSSIVirtualTag(i) \leftarrow Interp. [distancia, RSSIRealTag, distancia_v(i)];$
-

que estas estejam equidistantes entre si e entre as etiquetas de referências do sistema. Feito isto o algoritmo necessita da distância entre o leitor e as etiquetas de referência, este cálculo da distância linha 8($distancia(i)$). Esta etapa é necessária pois no ambiente simulado precisamos desta informação para o cálculo do RSSI das etiquetas de referência, tal cálculo é feito na linha 9 e é obtido a partir da equação de Friis ($RSSIRefTag$). Após esta etapa é feito o cálculo da distância entre o leitor e as etiquetas virtuais ($distancia_v(i)$) (linha 11). De posse das informações de distância entre o leitor e as etiquetas virtuais ($distancia_v(i)$) e de referência ($distancia(i)$) e do RSSI das etiquetas de referência ($RSSIRefTag$) o algoritmo utiliza interpolação linear para estimar o RSSI das etiquetas virtuais ($RSSIVirtualTag$).

A partir destas informações, o simulador gera uma distribuição 3D do RSSI de todas as etiquetas na área. O valor de RSSI de cada etiqueta de referência e etiqueta virtual pode ser usado para localizar etiquetas anexadas ao objeto. Pode-se medir o valor RSSI de cada etiqueta anexada ao objeto, e então, procuramos correspondência entre o RSSI da etiqueta anexada ao objeto e algum RSSI dentre o das etiquetas de referência ou etiquetas virtuais.

Capítulo 5

Proposta

Neste capítulo apresentamos a proposta implementada para localização de etiquetas alvos. De forma a deixar mais clara a solução, nossa proposta foi dividida em dois algoritmos. O primeiro para a identificação das possíveis localizações, em outras palavras posições da matriz de referência (Etiquetas de referência e etiquetas virtuais) com um valor de RSSI próximo ao valor de RSSI da etiqueta alvo (solução implementada no Algoritmo 2). Este algoritmo tem como saída possíveis posições da etiqueta alvo (posições de etiquetas da matriz de referência que tem o RSSI em um range de " x "dB da etiqueta alvo). O segundo para a tomada de decisão sobre qual das possibilidades será considerada como a posição final estimada pelo sistema como a posição na qual a etiqueta alvo se encontra (solução implementada no Algoritmo 3). o algoritmo de tomada de decisão avalia a diferença entre as coordenadas x , y e z das possíveis posições identificando qual o eixo tem a maior diferença, então, move o leitor apenas no eixo de maior diferença e executa uma nova medição do RSSI das etiquetas de referência identificadas como possíveis posições, medição do RSSI da etiqueta alvo e uma nova avaliação de proximidade. Após esta nova avaliação, a posição da etiqueta de referência com o RSSI mais próximo ao RSSI da etiqueta alvo é selecionada como posição estimada pelo sistema.

O Algoritmo 2 necessita de seis informações de entrada e gera uma saída conforme descrito na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Descrição das variáveis de entrada e saída do Algoritmo 2

Tipo	Variável	Descrição
Entradas	n	Qtd de etiquetas virtuais entre duas etiquetas reais.
	$Reader_{PositionQty}$	Qtd de posições de leituras que o leitor móvel efetuará
	$Reader_{PowerQty}$	Qtd de potências que serão utilizadas durante cada leitura
	$Power_{Values}$	Níveis de potência utilizados durante as leituras
	$Reader_{Position}$	Posição inicial do leitor móvel
	$ReferenceTagPos$	Posições das etiquetas de referência
Saída	$Possible_{positions}$	Posições da matriz de referência com um valor de RSSI próximo ao valor de RSSI da etiqueta Alvo

Inicialmente é preciso inicializar o Algoritmo 2 com as seguintes variáveis de entrada:

- (n) - Quantidade de etiquetas virtuais entre duas etiquetas reais (linha 1), uma exemplificação no plano 2D de quando $n = 2$ pode ser vista na Figura 5.1;
- $Reader_{PositionQty}$ - Quantidade de posições nas quais o leitor móvel irá efetuar suas leituras. No ambiente simulado tomou-se como base uma estante (ambiente no qual deseja-se utilizar o sistema no mundo real). Essa informação é utilizada para o sistema identificar a quantidade de pontos de medição necessários ao redor da estante (linha 2);
- $Reader_{PowerQty}$ - O sistema proposto tem a possibilidade de utilizar diferentes potências durante as medições de RSSI. Para tal basta inicializar esta variável com um valor diferente de 1 (linha 3);
- $Power_{Values}$ - Define a potência ou potências de transmissão utilizadas pelo leitor (a quantidade de valores desta variável depende da quantidade definida

na variável $Reader_{PowerQty}$ (linha 4);

- $Reader_{Position}$ - Posição inicial do leitor móvel no ambiente simulado (linha 5);
- $ReferenceTag_{Pos}$ - Posições das etiquetas de referência no ambiente simulado (linha 6).

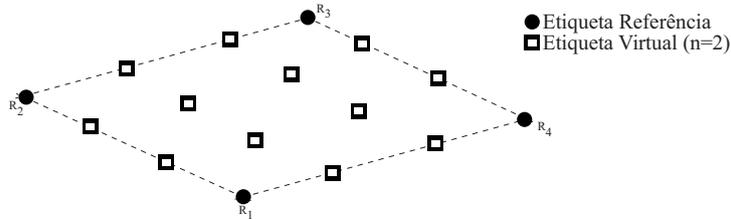


Figura 5.1: Exemplo 2D posicionamento etiquetas virtuais($n = 2$)

A partir destas informações, o sistema proposto efetua o posicionamento das etiquetas virtuais ($Virt_{TagPos}$ - procedimento descrito no Algoritmo 1) (linha 7), identifica a quantidade total de etiquetas da matriz de referência ($Total_{TagQty}$ - Total de etiquetas Reais e etiquetas virtuais)(linha8). E efetua o posicionamento randômico de uma etiqueta alvo no ambiente simulado ($Target_{TagPos}$) (linha 9).

As linhas de 10 a 15 do Algoritmo 2 descrevem um laço utilizado para efetuar as medições de RSSI de todas as etiquetas do sistema (Etiquetas de Referência - $RSSI_{Ref_{Tag}}$, Etiquetas Virtuais - $RSSI_{Virtual_{Tag}}$ e Etiquetas Alvo - $RSSI_{Target_{Tag}}$. O procedimento descrito para efetuar o cálculo do RSSI no ambiente simulado é descrito no Algoritmo 1).

A partir dos valores de RSSI medidos nos diferentes pontos de medição e com as diferentes potências, o sistema proposto identifica qual a posição de leitura é a mais próxima a posição da etiqueta alvo ($Nearest_{reader}$). Identifica qual leitor necessitou de uma potência mais baixa para "ler" a etiqueta alvo (linha 16). Esta posição é tomada como a posição de referência do leitor para o início da tomada de decisão de quais etiquetas da matriz de referência estão próximas a etiqueta alvo.

Os valores de RSSI encontrados pelo leitor quando da sua medição na potência máxima são salvos na variável $Nearest_{RSSI}$ (linha 17). Em seguida a variável $NearestOrdered_{RSSI}$ recebe os valores ordenados da diferença entre o módulo do valor de RSSI de todas as etiquetas medidas pelo leitor na posição de referência

quando da sua medição na potência máxima e o módulo do valor de RSSI da etiqueta alvo (ordenados de acordo com a proximidade ao valor de RSSI da etiqueta alvo, neste caso de 0dB ao maior valor encontrado) (linha 18).

Após vários experimentos constatou-se que caso o sistema decida considerar automaticamente o valor de RSSI da matriz de referência com valor mais próximo ao valor de RSSI da etiqueta alvo como a posição estimada, o erro do sistema é muito alto (acima dos 3 metros). Após análises dos dados detectou-se que como o ambiente simulado utiliza a Equação de Friis (Equação 4.1) para encontrar o valor de RSSI da transmissão por retroespalhamento (*backscattering*) e a interpolação linear para inferir os valores de RSSI das etiquetas virtuais, isto acaba aumentando o valor da incerteza do algoritmo proposto. Para compensar esta incerteza foi, adicionada uma variável (*RSSILim_{diff}*). Com esta variável é possível definir um valor de diferença limite que o sistema passa a considerar como possíveis posições (de 0dB a *RSSILim_{diff}* o sistema passa a considerar como uma possível posição). O valor utilizado na solução final foi de 3dB. O valor encontrado durante a fase de experimento no qual em 99% dos casos a posição mais próxima da real era listada entre as possíveis posições identificadas pelo sistema. Esta variável é inicializada na linha 19 do Algoritmo 2.

A variável *Possible_{PositionsTemp}* recebe a informação das posições identificadas na matriz de referência com um valor de RSSI próximo ao valor de RSSI da etiqueta alvo (linha 20). Todos os valores com uma diferença máxima definida em *RSSILim_{diff}* são considerados como posições possíveis neste momento. Lembrando que até aqui estão sendo considerados os valores de RSSI lidos pelo leitor na posição mais próxima a etiqueta alvo e com a máxima potência de transmissão do leitor.

Por exemplo, supondo que temos uma matriz de etiquetas de referência e etiquetas virtuais como a da Tabela 5.2. Caso o RSSI da etiqueta alvo seja -53dB, o algoritmo retorna as posições das etiquetas na matriz de referência que têm um valor de RSSI próximo ao valor de RSSI da etiqueta alvo (de 0dB a 3dB de diferença), que no caso seriam as posições [(3 4 0); (1 0 5); (3 1 0)].

Com os valores de posições possíveis temporários *Possible_{PositionsTemp}*, o Algoritmo 2 verifica as demais medições, não só a leitura de maior potência com o leitor na posição identificada como a mais próxima a etiqueta alvo. Neste momento todas as

Tabela 5.2: Exemplo de Matriz de referência

Tipo Etiqueta	RSSI	Posição		
		x	y	z
Referência	-48	0	0	0
	-49	2	3	5
	-51	3	4	0
	-47	0	4	1
Virtual	-48	1	4	2
	-53	1	0	5
	-54	3	1	0
	-57	1	3	1

posições de leitura e suas potências são consideradas. O algoritmo confirma também nestas medições se o RSSI das possíveis posições temporárias é próximo ao RSSI da etiqueta alvo. Após esta verificação, cria um mapa de densidade (linha 21) informando quantas ocorrências de cada uma das posições identificadas como possíveis foram identificadas em todas as leituras do sistema e guarda esta informação na variável $Density_{map}$.

Os valores considerados como valores máximos no mapa de densidade $Density_{map}$ (possíveis posições que aparecem mais vezes, pode ocorrer de haver empate entre duas ou mais) são considerados como as possibilidades finais de posicionamento da etiqueta alvo e são mantidos na variável $Possible_{positions}$ (linha 22). Com isso o sistema conclui a fase inicial de identificação das possíveis posições.

Utilizando o exemplo proposto na Tabela 5.2 inicialmente as posições $[(3\ 4\ 0);(1\ 0\ 5);(3\ 1\ 0)]$ foram identificadas como sendo possíveis posições para a etiqueta alvo. Porém verificando a quantidade de vezes que estas posições aparecem como possíveis nas demais medições efetuadas pelo sistema, teríamos um mapa de densidade como o descrito na Tabela 5.3. A coluna "Densidade" identifica a quantidade de vezes que estas posições aparecem como possíveis nas demais medições efetuadas pelo sistema (em média o sistema executa 4 leituras). As posições $[(3\ 4\ 0);(3\ 1\ 0)]$ apareceram seis vezes (maior valor dentre as opções) e, por isso, estas seriam consideradas como as possíveis posições finais do Algoritmo 2.

Tabela 5.3: Mapa de densidade

Posição	Densidade
(3 4 0)	6
(1 0 5)	4
(3 1 0)	6

Neste momento, o sistema possui informações sobre as etiquetas da matriz de referência que durante o processo inicial de medição (alterando-se as posições do leitor e sua potência de transmissão) foram consideradas as mais prováveis posições para a etiqueta alvo.

Após a identificação das prováveis posições para a etiqueta alvo o sistema precisa decidir qual será eleita a provável posição final. Esta tomada de decisão é feita de acordo com o Algoritmo 3. Este algoritmo recebe as prováveis opções (*Possible_{positions}*) do Algoritmo 2. No caso de haver apenas uma provável posição (linha 1). Esta automaticamente passa a ser a posição estimada pelo sistema (linha 2) como sendo a posição da etiqueta alvo (*Estimated_{position}*). Caso existam duas ou mais opções (linha 3), o algoritmo verifica a diferença entre o valor máximo e mínimo de cada eixo cartesiano (*Xaxis_{Dif}*; *Yaxis_{Dif}*; *Zaxis_{Dif}*) das prováveis opções. Isto é necessário para encontrarmos em qual eixo temos a maior dúvida (maior valor de diferença). A variável *Axis_{Dif}* recebe a informação do eixo cartesiano com maior valor de dúvida. Esta verificação é efetuada da linha 4 a 7 do algoritmo. No nosso exemplo temos as posições [(3 4 0); (3 1 0)] como as opções prováveis. Com isso temos que:

$$Xaxis_{Dif} = (Xmax - Xmin) = (3 - 3) \Rightarrow Xaxis_{Dif} = 0 \quad (5.1)$$

$$Yaxis_{Dif} = (Ymax - Ymin) = (4 - 1) \Rightarrow Yaxis_{Dif} = 3 \quad (5.2)$$

$$Zaxis_{Dif} = (Zmax - Zmin) = (0 - 0) \Rightarrow Zaxis_{Dif} = 0 \quad (5.3)$$

Algoritmo 2 Algoritmo para identificação inicial de possíveis posições

Entrada: n ; $Reader_{PositionQty}$; $Reader_{PowerQty}$; $Power_{Values}$

Saída: $Possible_{positions}$

- 1: $n \leftarrow Virtual\ tag\ Qty\ between\ 2\ real\ tags$;
 - 2: $Reader_{PositionQty} \leftarrow Qty\ of\ measurement\ positions$;
 - 3: $Reader_{PowerQty} \leftarrow Qty\ of\ power\ possibilities$;
 - 4: $Power_{Values} \leftarrow (P_1, P_2, \dots P_n)$;
 - 5: $Reader_{Position} \leftarrow (x_R, y_R, z_R)$;
 - 6: $ReferenceTag_{Pos} \leftarrow [x_1y_1z_1; x_2y_2z_2; \dots x_ny_nz_n]$;
 - 7: $Virt_{TagPos} \leftarrow According\ to\ no\ Algorithm\ 1$;
 - 8: $Total_{TagQty} \leftarrow Number\ of\ ReferenceTags + VirtualTags$;
 - 9: $TargetTag_{Pos} \leftarrow Random\ Position$;
 - 10: **para** $1:Reader_{PowerQty}(i)$ **faça**
 - 11: **para** $1:Reader_{PositionQty}(j)$ **faça**
 - 12: **para** $1:Total_{TagQty}(l)$ **faça**
 - 13: $RSSIRef_{Tag}(i, j, l) \leftarrow According\ to\ Algorithm\ 1$;
 - 14: $RSSIVirtual_{Tag}(i, j, l) \leftarrow According\ to\ Algorithm\ 1$;
 - 15: $RSSITarget_{Tag}(i, j, l) \leftarrow According\ to\ Algorithm\ 1$;
 - 16: $Nearest_{reader} \leftarrow Closest\ reader\ identification$;
 - 17: $Nearest_{RSSI} \leftarrow Closest\ reader\ measure\ at\ max.\ power$;
 - 18: $NearestOrdered_{RSSI} \leftarrow Ordered(|Nearest_{RSSI}| - |RSSITarget_{Tag}|)$;
 - 19: $RSSILim_{dif} \leftarrow Value\ Limit\ value\ of\ the\ RSSI\ Difference$;
 - 20: $Possible_{PositionsTemp} \leftarrow NearestOrdered_{RSSI}\ until\ RSSILim_{dif}$;
 - 21: $Density_{map} \leftarrow Possible_{PositionsTemp}\ Density\ map$;
 - 22: $Possible_{positions} \leftarrow MaxValuesof\ Density_{map}$;
-

$$\Rightarrow Axis_{Dif} = y \quad (5.4)$$

Com esta informação ($Axis_{Dif}$) o sistema "entende" em qual eixo está a sua dúvida e, baseado nisso, toma a decisão de realizar uma nova leitura movendo o leitor apenas neste eixo. No ambiente real poderíamos informar uma direção na qual o leitor deveria ser movimentado pelo usu[ário] (eixo de dúvida) para que novas leituras fossem efetuadas (linhas de 8 a 13 em caso de dúvidas no eixo x , linhas de 14 a 19 no eixo y e linhas de 20 a 25 em caso de dúvidas no eixo z). Nesta nova posição de leitura será necessário efetuar a medição apenas das etiquetas situadas nas prováveis posições ($RSSI_{PossiblePositions}$) e da etiqueta alvo ($RSSITargetTag$). Ao final desta medição, novamente compara-se os valores de RSSI das prováveis etiquetas com o valor da etiqueta alvo, aquele que estiver mais próximo ao valor da etiqueta alvo é considerado como a posição estimada pelo sistema ($Estimated_{position}$). A tomada de decisão do eixo cartesiano no qual o leitor irá mover-se, e a nova medição e verificação de proximidade do valor de RSSI (entre a etiqueta alvo e as situadas nas prováveis posições) é feita nas linhas de 8 a 25 do algoritmo.

Voltando ao nosso exemplo, identificamos que o eixo de dúvida seria o eixo y , após mover o nosso leitor neste eixo e efetuar uma nova medição, identificamos que o valor de RSSI da etiqueta alvo passou a ser -47dB. Os valores de RSSI das prováveis posições para esta nova medição podem ser vistos na Tabela 5.4. Como estamos em busca do valor de RSSI mais próximo ao valor de RSSI da etiqueta alvo (-47dB) inferimos que a posição estimada da etiqueta alvo seria a posição (3 4 0) pois esta tem um valor de RSSI de -48dB (mais próximo que o valor de -53dB).

Tabela 5.4: Valores de RSSI após movimentação no eixo de maior dúvida

Posição	RSSI
(3 4 0)	-48dB
(3 1 0)	-53dB

Após a identificação da posição estimada o sistema calcula o seu erro. Isto é possível, uma vez que no ambiente simulado conhecemos a posição da etiqueta de referência ($TargetTagPos$), podemos encontrar a distância entre a posição real da etiqueta alvo

e a posição estimada pelo sistema. Este cálculo é efetuado ao final do Algoritmo 3 e mantido na variável *Erro*.

Supondo no nosso exemplo que a posição da etiqueta alvo era (3 3.5 0) e (3 4 0) a posição estimada pelo sistema, o erro neste caso seria:

$$\begin{aligned}
 Erro = \sqrt{ & (Estimated_{position}(x) - TargetTagPos(x))^2 + \dots \\
 & (Estimated_{position}(y) - TargetTagPos(y))^2 + \\
 & (Estimated_{position}(z) - TargetTagPos(z))^2 }
 \end{aligned} \tag{5.5}$$

$$Erro = \sqrt{(3 - 3)^2 + (3.5 - 4)^2 + (0 - 0)^2} \tag{5.6}$$

$$Erro = \sqrt{(0)^2 + (-0.5)^2 + (0)^2} \Rightarrow Erro = 0.5m \tag{5.7}$$

Foram realizados vários experimentos no Matlab utilizando o sistema proposto. Os dados destes experimentos e seus resultados serão apresentados no Capítulo6 de resultados.

Algoritmo 3 Algoritmo para tomada de decisão

Entrada: $Possible_{positions}$ **Saída:** $Estimated_{position}$; $Erro$

```
1: se  $Possible_{positions} Qty = 1$  então
2:   |  $Estimated_{position} \leftarrow Possible_{positions}$ ;
3: senão
4:   |  $Xaxis_{Dif} \leftarrow Possible_{positions} (Xmax - Xmin)$ ;
5:   |  $Yaxis_{Dif} \leftarrow Possible_{positions} (Ymax - Ymin)$ ;
6:   |  $Zaxis_{Dif} \leftarrow Possible_{positions} (Zmax - Zmin)$ ;
7:   |  $Axis_{Dif} \leftarrow Identify\ the\ max\ value\ of\ Xaxis_{Dif},\ Yaxis_{Dif}\ and\ Zaxis_{Dif}$ ;
8:   | se  $Axis_{Dif} = X$  então
9:     |  $Reader_{Position} \leftarrow (X_R, Y_R, Z_R)$  move in the X axis;
10:    |  $RSSITarget_{Tag} \leftarrow According\ to\ Algorithm\ 1$ ;
11:    | para  $1 : Possible_{positionsQty}(i)$  faça
12:      |  $RSSIPossible_{Positions}(i) \leftarrow According\ to\ Algorithm\ 1$ ;
13:      |  $Estimated_{position} \leftarrow RSSIPossible_{Positions}(i)$  closest to  $RSSITarget_{Tag}$ ;
14:    | senão se  $Axis_{Dif} = Y$  então
15:      |  $Reader_{Position} \leftarrow (X_R, Y_R, Z_R)$  move in the Y axis;
16:      |  $RSSITarget_{Tag} \leftarrow According\ to\ Algorithm\ 1$ ;
17:      | para  $1 : Possible_{positionsQty}(i)$  faça
18:        |  $RSSIPossible_{Positions}(i) \leftarrow According\ to\ Algorithm\ 1$ ;
19:        |  $Estimated_{position} \leftarrow RSSIPossible_{Positions}(i)$  closest to  $RSSITarget_{Tag}$ ;
20:    | senão
21:      |  $Reader_{Position} \leftarrow (X_R, Y_R, Z_R)$  move in the Z axis;
22:      |  $RSSITarget_{Tag} \leftarrow According\ to\ Algorithm\ 1$ ;
23:      | para  $1 : Possible_{positionsQty}(i)$  faça
24:        |  $RSSIPossible_{Positions}(i) \leftarrow According\ to\ Algorithm\ 1$ ;
25:        |  $Estimated_{position} \leftarrow RSSIPossible_{Positions}(i)$  closest to  $RSSITarget_{Tag}$ ;
26:  $Erro \leftarrow Distancia [Estimated_{position} \times TargetTagPos]$ ;
```

Capítulo 6

Resultados

Neste capítulo apresentamos os resultados obtidos durante as simulações, a análise estatística dos dados e a métrica de avaliação utilizada para validação do mecanismo proposto para localização de objetos em um ambiente 3D utilizando sistemas RFID e um leitor móvel.

6.1 Resultados obtidos durante as simulações

Foram realizadas conjuntos de simulações na versão final do mecanismo proposto (conforme descrito no Capítulo 5 proposta). O objetivo inicial das simulações foi a identificação da variação dos principais indicadores de desempenho do mecanismo proposto em decorrência do aumento de n (Quantidade de etiquetas virtuais posicionadas entre duas etiquetas de referência), conforme lista a seguir:

- Erro médio do mecanismo - média dos erros encontrados durante cada conjunto de simulações ;
- Erro máximo encontrado - valor máximo de erro encontrado durante cada conjunto de simulações;
- Erro mínimo encontrado - valor mínimo de erro encontrado durante cada conjunto de simulações;
- Tempo de simulação - Tempo total decorrido durante cada simulação.

Os valores selecionados de n podem ser observados na Tabela 6.1, para cada valor de n foram rodadas um conjunto de 100 simulações.

Tabela 6.1: Valores de n e quantidade de simulações

Variável	Valores							
n	2	3	4	7	10	15	20	35

Os resultados das simulações podem ser observados na Tabela 6.2 onde:

- Erro médio do mecanismo: O *Erro* do mecanismo proposto é encontrado a partir da Equação 4.2, é a diferença entre a posição estimada pelo mecanismo proposto e a real posição da etiqueta alvo. Já o Erro Médio é a média de todos os erros encontrado durante um conjunto de simulações (com um mesmo valor de n);
- Erro máximo encontrado: Maior valor do *Erro* encontrado durante um mesmo conjunto de simulações (com um mesmo valor de n);
- Erro mínimo encontrado: Menor valor do *Erro* encontrado durante um mesmo conjunto de simulações (com um mesmo valor de n);
- Tempo Médio(s): Média do tempo transcorrido em uma única simulação do mecanismo proposto referente a cada valor de n utilizado, medido em segundos;
- Tempo Médio(m): Média do tempo transcorrido em uma única simulação do mecanismo proposto referente a cada valor de n utilizado, medido em minutos.

Tabela 6.2: Resultado 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 Máximo	1.72	1.48	0.81	0.9	0.78	0.85	0.77	0.96
Erro Mínimo	0.14	0.1	0.1	0	0	0	0	0
Tempo Médio (s)	0.41	0.83	1.45	4.99	12.32	35.76	116.78	533.13
Tempo Médio (m)	0.01	0.01	0.02	0.08	0.21	0.60	1.95	8.89

A Figura 6.1 expressa de forma gráfica o intervalo de confiança do *Erro* encontrado durante as simulações, nota-se claramente que o *Erro* tem uma relação inversa

ao aumento da quantidade de n . Aumentando-se a quantidade de etiquetas virtuais ocorre a diminuição no valor do *Erro*, porém, em determinado ponto essa diminuição passa a ser menos significativa.

A Figura 6.2 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. Como esperado quanto maior a quantidade de etiquetas virtuais adicionadas, maior é o tempo necessário para o mecanismo proposto estimar a posição da etiqueta alvo.

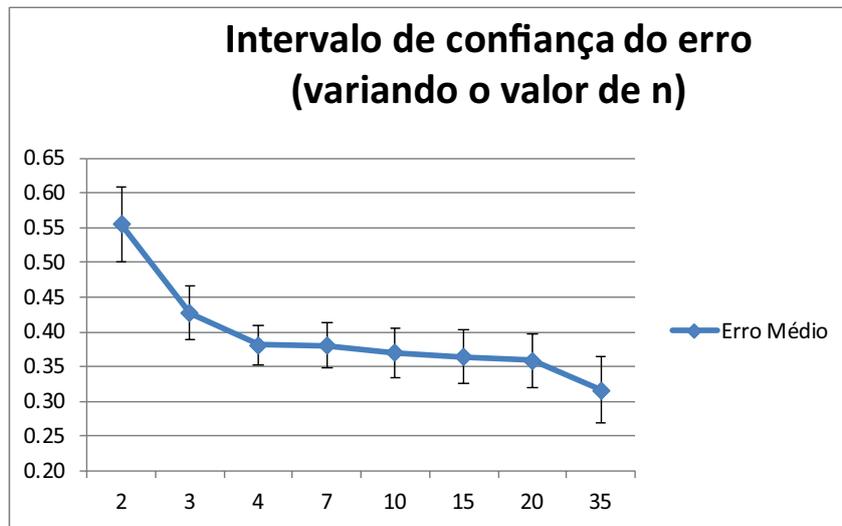


Figura 6.1: Intervalo de confiança do *Erro* encontrado nas simulações

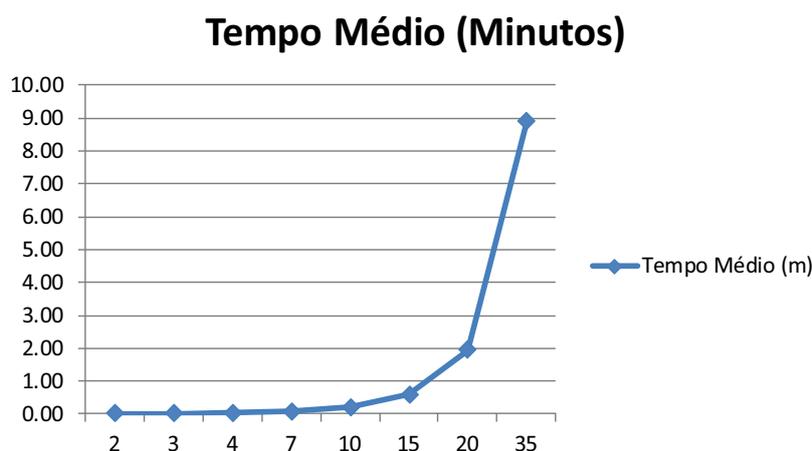


Figura 6.2: Média de tempo dispendido em minutos

6.2 Análise estatística dos dados

Para cada valor de n (ver Tabela 6.1) foram executadas cem simulações do mecanismo proposto. Para verificar se o *Erro* encontrado durante este conjunto de simulações está sob controle estatístico, é necessário analisar os dados observados (Erro médio e tempo das simulações) durante as simulações.

A Figura 6.3 mostra um gráfico de Boxplot do Erro Médio de todos os conjuntos de simulações (cem simulações para cada valor de n). Neste gráfico observa-se que para alguns dos valores de n utilizados existem valores de *Erro* que estão distoando dos demais encontrados (*outliers* identificados na Figura 6.3 com asterisco).

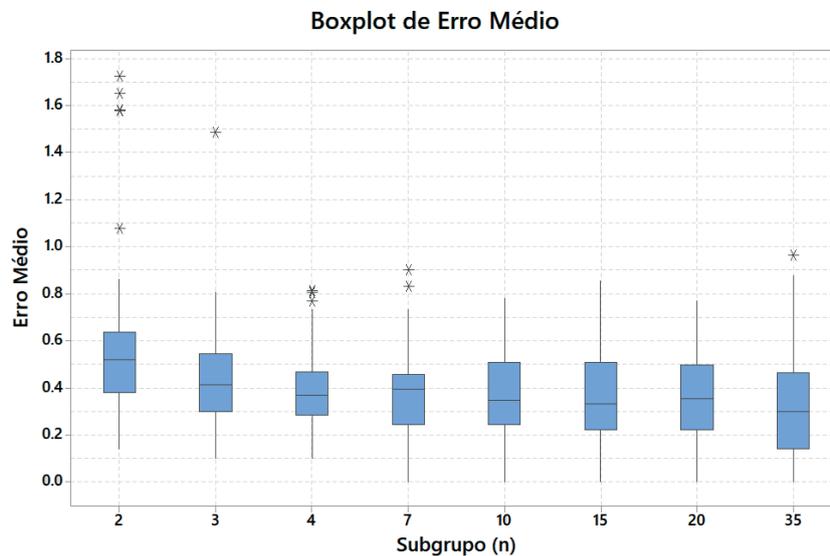


Figura 6.3: Gráfico de Boxplot do Erro médio (n)

O gráfico de Boxplot fornece uma visualização inicial da estabilidade do mecanismo, porém a tendência de normalidade é melhor observada em um gráfico de normalidade Figura 6.4. Na figura pode ser observado que quando n assume os valores 2 e 3 existem pontos que estão fora dos limites estabelecidos.

Por fim é preciso analisar se é possível identificar alguma tendência de que aumentando a quantidade de simulações do mecanismo proposto, acarrete um aumento progressivo no valor do Erro médio encontrado (para os casos de se aumentar a quantidade de simulações). Esta análise de tendência é efetuada a partir de cartas de controle estatísticos. Carta de controle é um tipo de gráfico utilizado para o acompanhamento estatístico de dados. Determina uma linha superior chamada

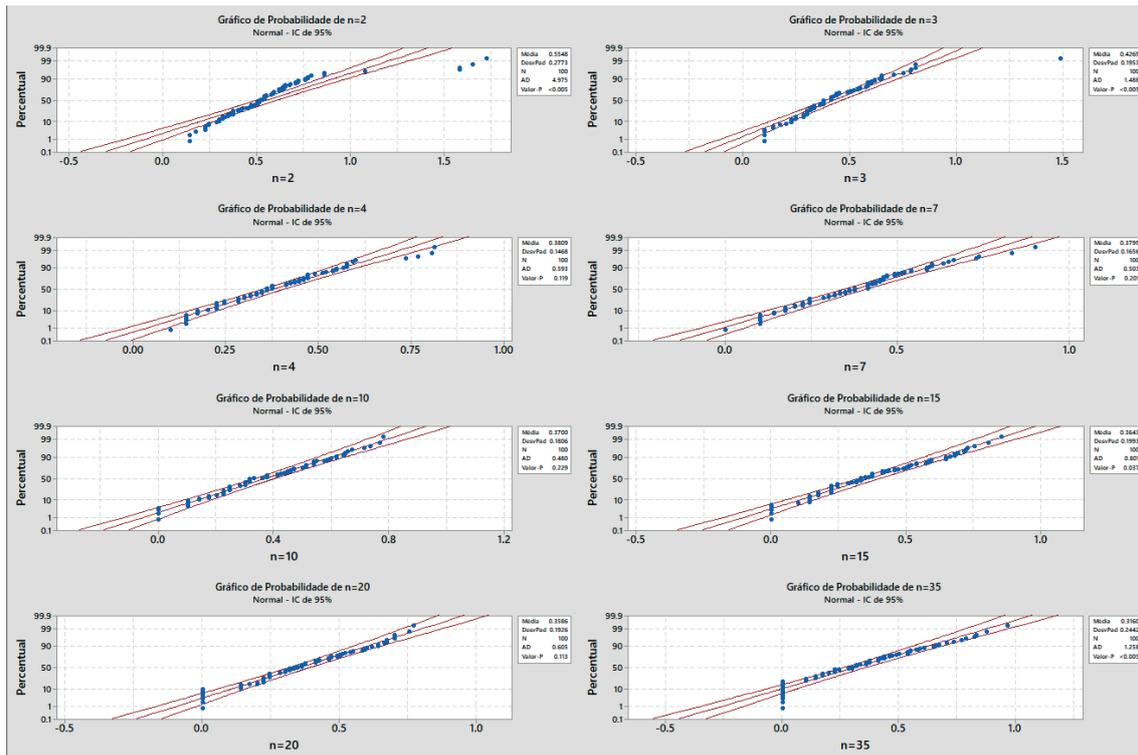


Figura 6.4: Gráfico de Probabilidade Normal (n)

de Limite Superior de Controle (LSC), uma linha inferior chamada de Limite Inferior de Controle (LIC) e uma linha média do processo chamada de Limite Central (LC), que foram estatisticamente determinadas. Detalhes sobre os limites estatísticos podem ser observados na Figura 6.5 onde:

$$LSC = \bar{X} + \left(\frac{3 * \overline{MR}}{d_2} \right) \quad (6.1)$$

$$LC = \bar{X} \quad (6.2)$$

$$LIC = \bar{X} - \left(\frac{3 * \overline{MR}}{d_2} \right) \quad (6.3)$$

Pontos fora dos limites são considerados como "fora de controle", como o objetivo do nosso experimento é que o *Erro* esteja próximo a 0 (zero), o Limite Inferior de Controle não precisa ser avaliado.

Na avaliação do nosso experimento foram utilizadas 2 tipos de cartas de Controle. De valores individuais, que tem por função o monitoramento e detecção de mudanças no erro médio. E a carta de Controle de amplitude móvel, que monitora e detecta alterações na variabilidade entre os erros médios, neste tipo de avaliação os pontos no gráfico representam a diferença absoluta entre dois pontos individuais consecutivos.

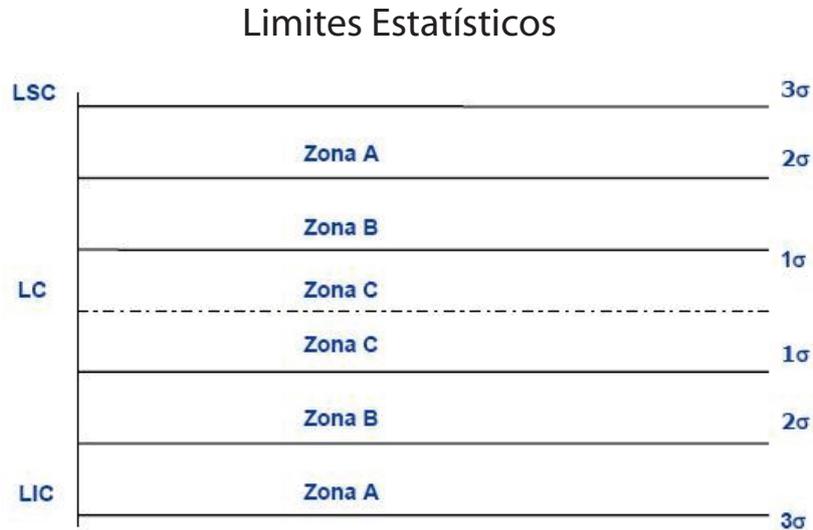


Figura 6.5: Limites de Controle dados estatísticos

Observando as Cartas de Controle dos valores de n restantes podemos afirmar que:

- Quando $n = 4$: Na Figura 6.6 o *Erro* médio encontrado no mecanismo proposto está estável e nenhum ponto está fora de controle na Carta de Controle de médias Individuais. Com isso podemos afirmar com 99% de certeza que mesmo aumentando a quantidade de simulações, o *Erro* estará sob controle estatístico;
- Quando $n = 7$: Na Figura 6.7 o *Erro* médio encontrado no mecanismo proposto não está estável. Dois pontos estão fora de controle na Carta de Controle de médias Individuais (pontos acima do Limite de Contre Superior), aumentando a quantidade de simulações, pode ser que o *Erro* também aumente;
- Quando $n = 10$: Na Figura 6.8 o *Erro* médio encontrado no mecanismo proposto está estável e nenhum ponto esta fora de controle na Carta de Controle de médias Individuais. Com isso podemos afirmar com 99% de certeza que

mesmo aumentando a quantidade de simulações, o *Erro* estará sob controle estatístico;

- Quando $n = 15$: Na Figura 6.9 o *Erro* médio encontrado no mecanismo proposto está estável e nenhum ponto está fora de controle na Carta de Controle de médias Individuais. Com isso podemos afirmar com 99% de certeza que mesmo aumentando a quantidade de simulações, o *Erro* estará sob controle estatístico;
- Quando $n = 20$: Na Figura 6.10 o *Erro* médio encontrado no mecanismo proposto está estável e nenhum ponto está fora de controle na Carta de Controle de médias Individuais. Com isso podemos afirmar com 99% de certeza que mesmo aumentando a quantidade de simulações, o *Erro* estará sob controle estatístico;
- Quando $n = 35$: Na Figura 6.11 o *Erro* médio encontrado no mecanismo proposto está estável e nenhum ponto está fora de controle na Carta de Controle de médias Individuais. Com isso podemos afirmar com 99% de certeza que mesmo aumentando a quantidade de simulações, o *Erro* estará sob controle estatístico;

6.3 Métrica de avaliação

A estruturação de modelos para a simulação de Sistemas leva a organização de estruturas matemáticas que podem ser visualizadas como sendo uma função f que produz uma saída y a partir de entradas x e parâmetros do sistema p [28]. Uma representação desta visualização é apresentada na Figura 6.12

Para que os resultados dos experimentos efetuados em ambientes simulados possam ser utilizados, o modelo de simulação empregado necessita passar por procedimentos de verificação e validação. O procedimento para verificação e validação consiste em um conjunto de ações cuja meta é certificar se o modelo conceitual foi transcrito de forma adequada para o ambiente simulado [29]. Quando da implementação de modelos simulados três tipos de erros podem ocorrer [30]:

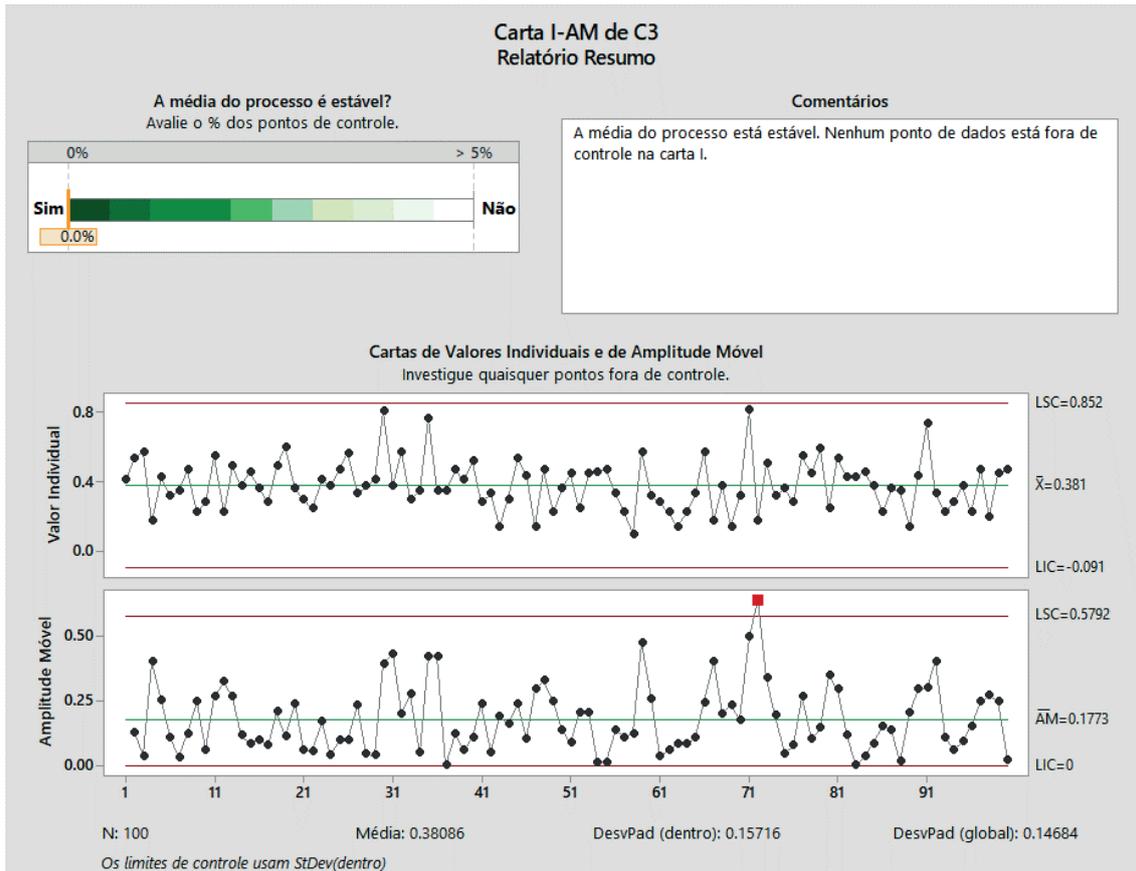


Figura 6.6: Relatório Carta Controle $n=4$

- Erro do Tipo I: Os dados gerados pelo modelo são confiáveis, mas mesmo assim são rejeitados;
- Erro do Tipo II: Os resultados apresentados pelo modelo não são apropriados, no entanto são aceitos como válidos;
- Erro do Tipo III: O modelo foi mal estruturado consequentemente é inadequado para o uso (não representa um modelo válido).

Uma representação gráfica do fluxo de análise da ocorrência de erros em um ambiente simulado pode ser visto na Figura 6.13.

Esta pesquisa utilizou dois dos métodos de validação comumente utilizados [30]. Primeiramente a partir das simulações efetuadas do mecanismo proposto foi possível inferir a posição da etiqueta alvo. Como no ambiente simulado o real posicionamento desta etiqueta é conhecido, foi possível comparar o resultado encontrado pelo mecanismo proposto com o real posicionamento da etiqueta. A partir desta comparação é possível dimensionar o erro do mecanismo proposto. Além disto foi efetuada

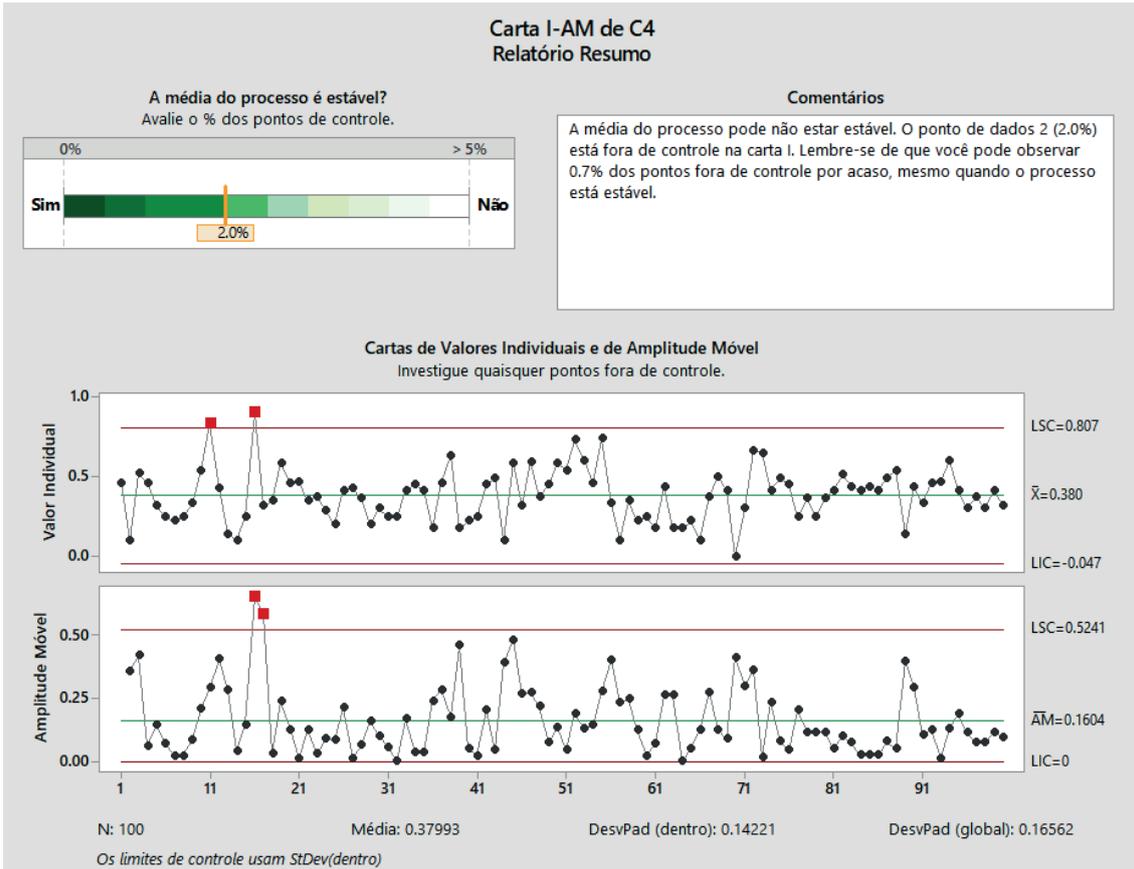


Figura 6.7: Relatório Carta Controle $n=7$

uma análise estatística dos valores de saída gerados a partir de variáveis aleatórias de entrada (posicionamento das etiquetas alvo). Conforme demonstrado na sessão anterior, foi comprovado que o experimento aqui proposto está sob controle estatístico.

6.4 Considerações sobre o mecanismo proposto

A partir das informações de quais valores de n foram considerados sob controle estatístico podemos decidir o valor "ótimo" de n . Voltando a Figura 6.1 vemos que a partir de $n=4$, o mecanismo proposto não apresenta melhoras significativas. Na Figura 6.2, nota-se que no intervalo de $n = 2$ até $n = 10$, o tempo médio das simulações é praticamente o mesmo. Baseando-se 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:

$$Erro = 0.37$$

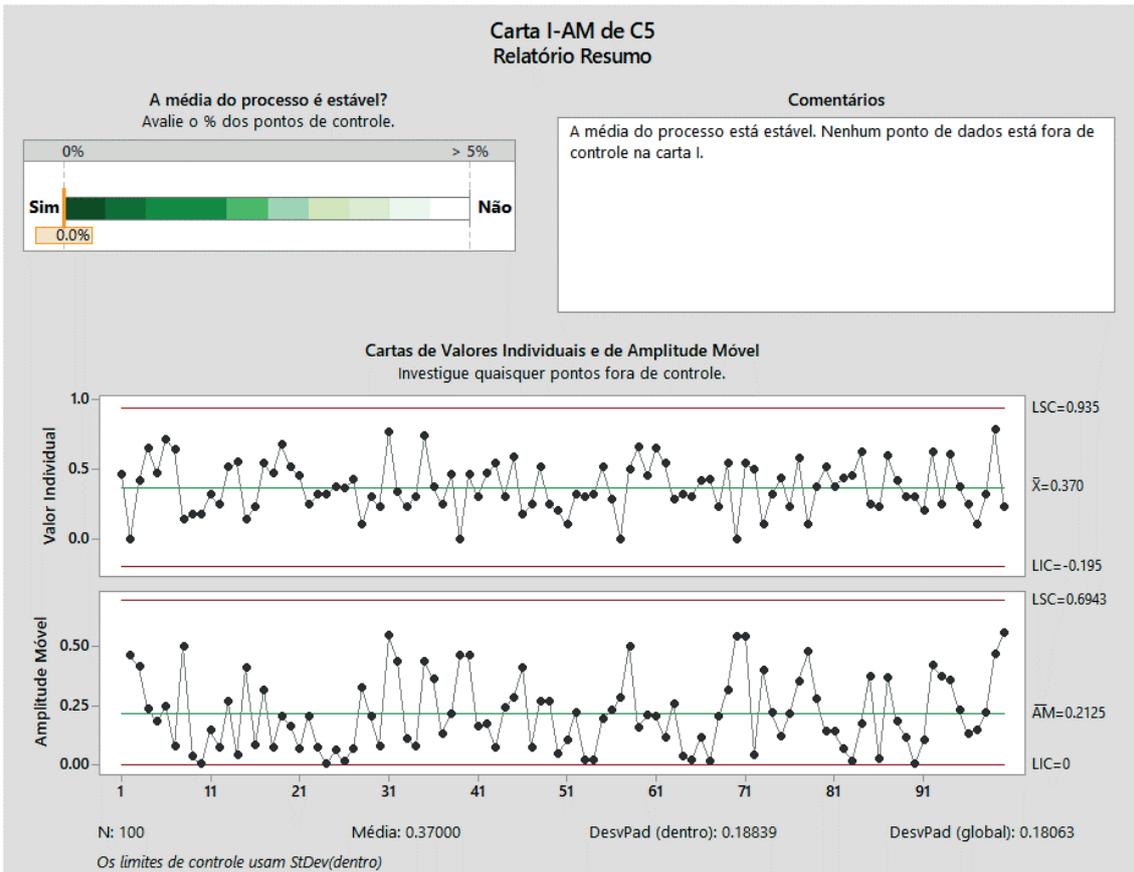


Figura 6.8: Relatório Carta Controle $n=10$

Na Tabela 6.1 podemos avaliar o Erro médio encontrado no mecanismo proposto e nos artigos de referência.

Somente um dos artigos de referência que trabalham com localização 3D informa o erro médio (*Improving Accuracy for 3D*, Erro médio = 0.54m), sendo este superior em 46% ao erro médio proposto neste trabalho, uma vez que o erro médio do mecanismo proposto = 0.37m.

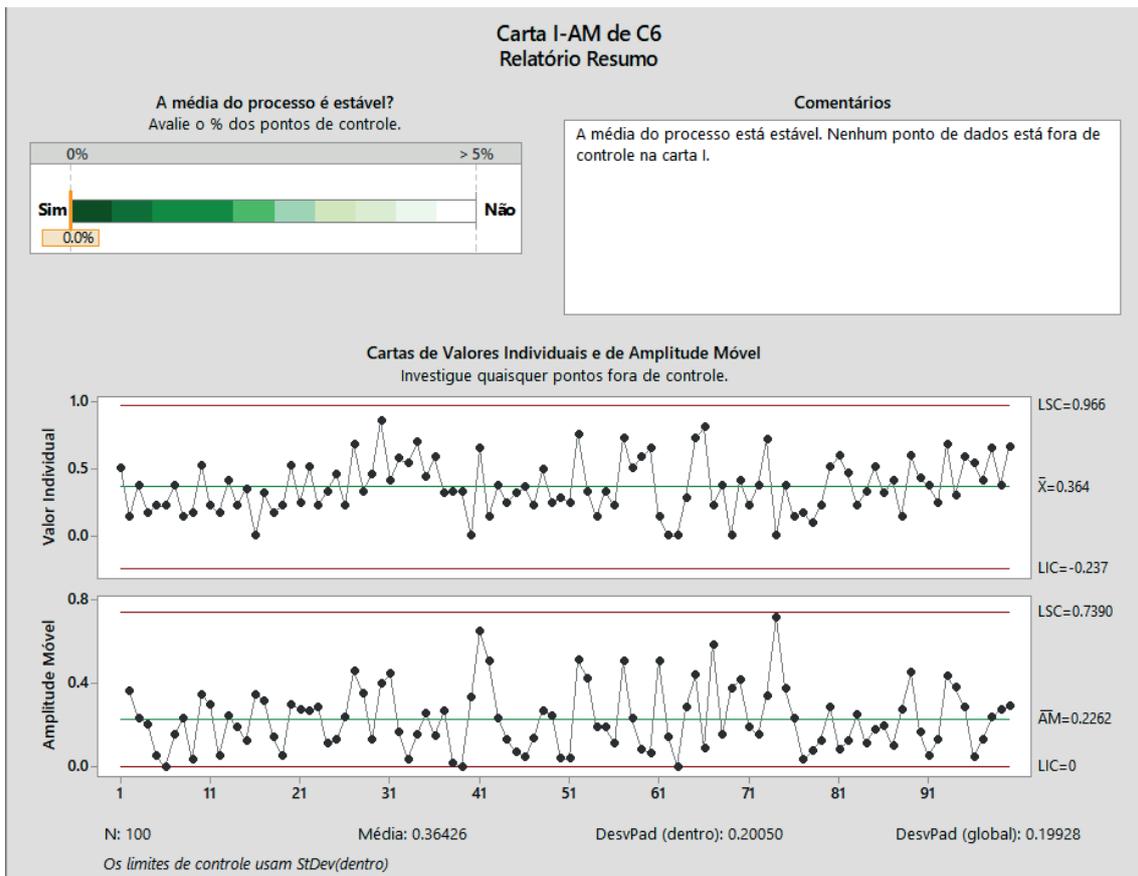


Figura 6.9: Relatório Carta Controle $n=15$

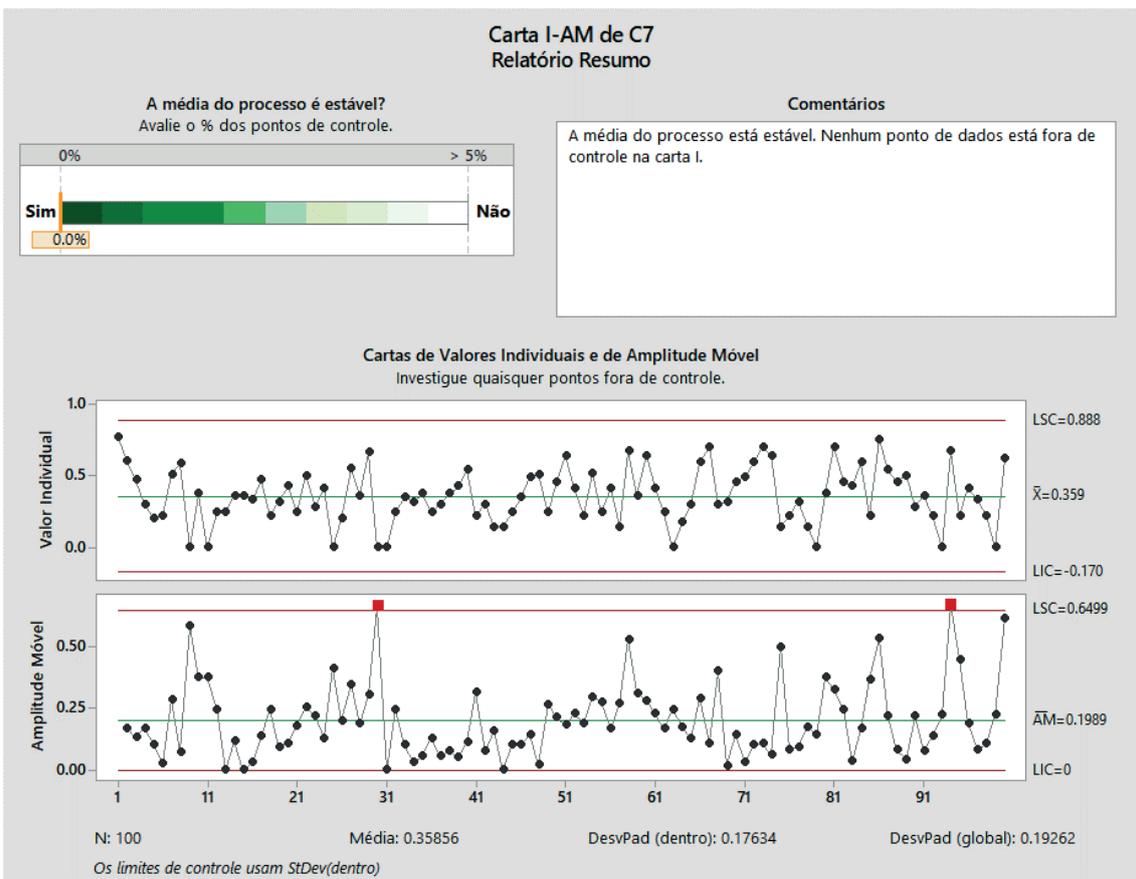


Figura 6.10: Relatório Carta Controle $n=20$

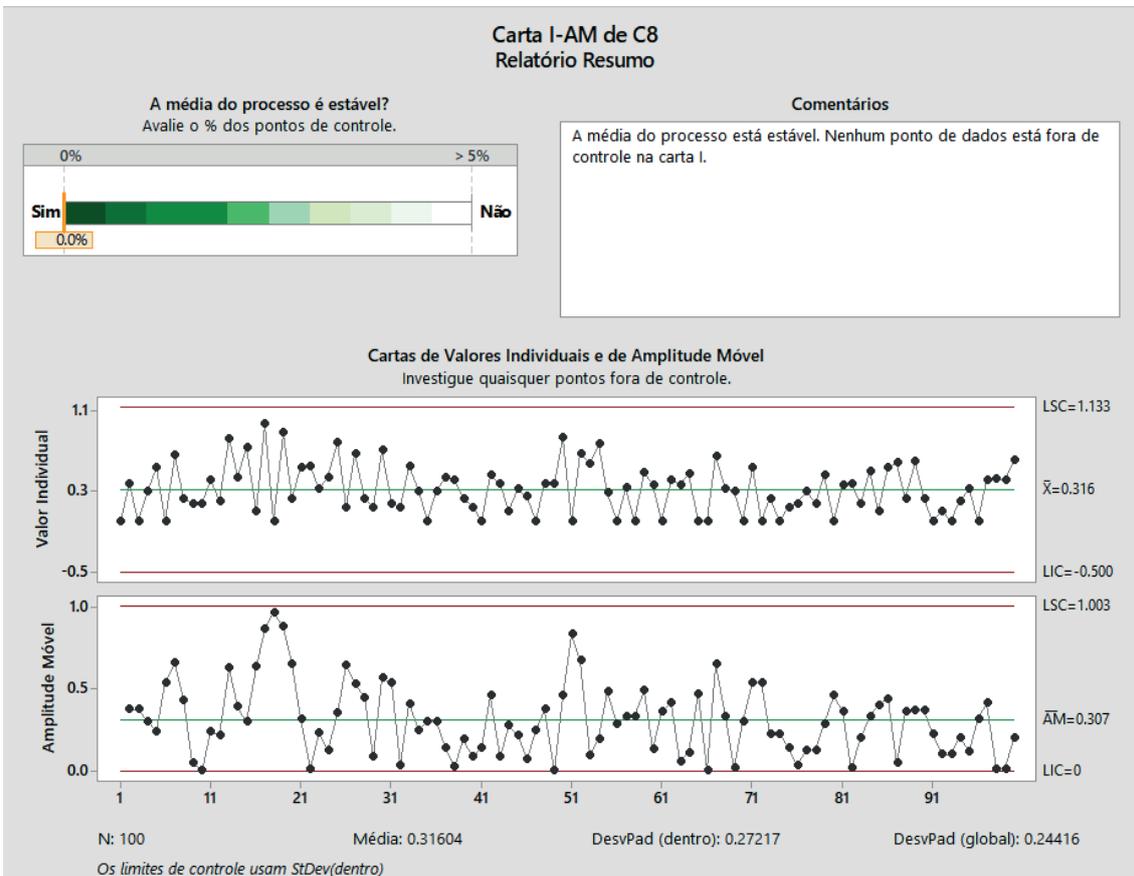


Figura 6.11: Relatório Carta Controle $n=35$

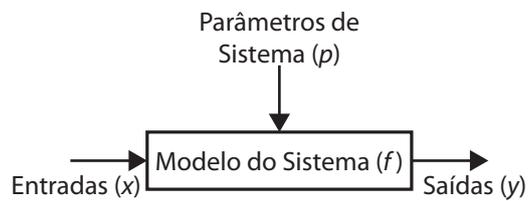


Figura 6.12: Visualização de Modelos de Simulação [28]

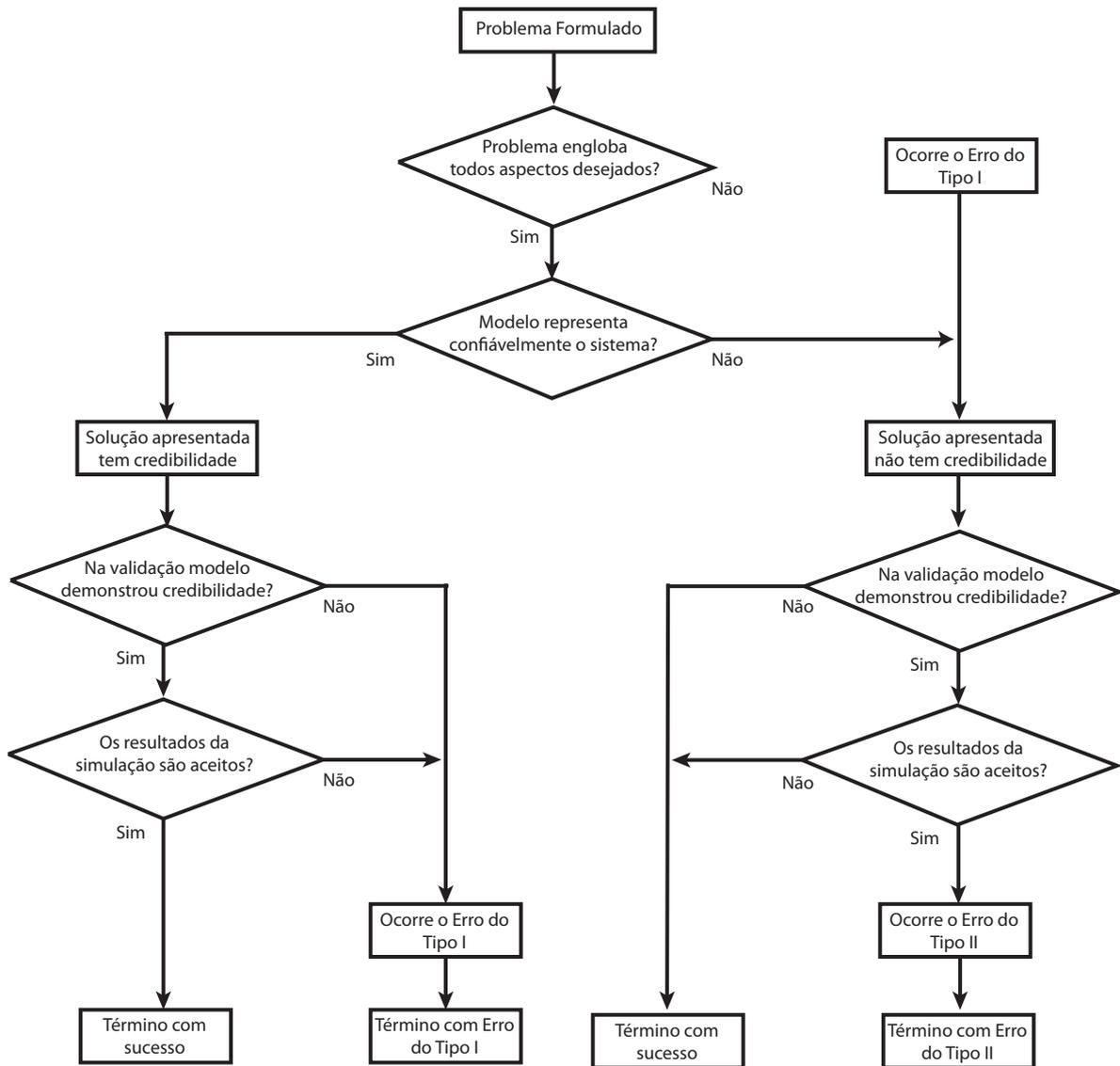


Figura 6.13: Estudo ocorrência de erros em ambientes simulados [30]

Tabela 6.3: Comparação do *Erro* com artigos de referência

Título	Tipo de etiqueta	Plano	Qtd. de leitores	Erro
Mecanismo proposto utilizando leitores RFID móveis	Passiva	3D	1	0.37m
LANDMARC: indoor location sensing using active RFID	Ativa	2D	4	1m
VIRE: Active RFID-based localization using virtual reference elimination	Ativa	2D	≥ 2	0.2m
Less is More: Efficient RFID-based 3D Localization	Ativa / Passiva	3D	≥ 4	Não informado
Improving Accuracy for 3D	Ativa	3D	4	0.54m
Indoor positioning technique by combining RFID and particle swarm optimization-based back propagation neural network	Ativa	2D	4	0.3536m
Indoor location tracking using received signal strength indicator	Ativa	2D	1	Não informado
A New RSSI-based Centroid Localization Algorithm by Use of Virtual Reference Tags	Ativa	2D	4	Não informado

Capítulo 7

Conclusão e Trabalhos Futuros

7.1 Conclusões

Este trabalho realizou estudos sobre a localização no plano 3D (x, y, z) de etiquetas RFID em ambientes internos. O objetivo foi a localização de objetos (com etiquetas RFID anexas) situados em uma prateleira de um ambiente fabril (localização de itens em um estoque).

O Capítulo 4 apresenta detalhes da construção do ambiente de simulação montado para validar o mecanismo proposto neste trabalho, uma matriz 3D com 3m de largura, 3m de comprimento e 4m de altura (simulando um armário utilizado para estocagem de produtos). No Capítulo 5 foi apresentado o mecanismo proposto para a localização de etiquetas, tal mecanismo utiliza um único leitor móvel e possui um algoritmo para tomada de decisão em caso de possíveis dúvidas. Durante as simulações do mecanismo proposto neste artigo foi possível avaliar a relação da quantidade de etiquetas virtuais entre duas etiquetas de referência (n) adicionadas no sistema com a precisão e o tempo de processamento do mecanismo. A partir de $n=4$, a precisão do mecanismo proposto não apresentou melhoras significativas, constatou-se também que no intervalo de $n = 2$ até $n = 10$, o tempo médio das simulações é praticamente o mesmo. Baseando-se nestas afirmações decidiu-se que o valor de $n = 10$ é o valor ótimo do mecanismo proposto.

Durante os experimentos constatou-se que nem sempre a etiqueta na matriz de referência com valor de RSSI valor mais próximo ao valor de RSSI da etiqueta alvo era a melhor opção para a posição estimada. Analisando-se os dados

detectou-se que como o ambiente simulado utiliza a Equação de Friis (Equação 4.1) para encontrar o valor de RSSI da transmissão por retroespalhamento (*backscattering*) e a interpolação linear para inferir os valores de RSSI das etiquetas virtuais, isto acaba aumentando o valor da incerteza do algoritmo proposto. Para compensar esta incerteza foi, adicionada uma variável (*RSSILim_{diff}*). O valor utilizado na solução final foi para esta variável foi 3dB (valor no qual em 99% dos casos a posição mais próxima da real era listada entre as possíveis posições identificadas pelo sistema).

O desempenho e os métodos para validação do mecanismo proposto foram explanados no Capítulo 6. A partir de técnicas estatísticas foi possível avaliar a estabilidade do mecanismo. Os experimentos, realizados demonstram que a proposta produz resultados com uma menor taxa de erro, quando comparado com outros trabalhos. O Erro médio final do mecanismo proposto neste trabalho ficou em 0.37m um ganho de 46% quando comparado com a melhor proposta de referência (no plano 3D).

7.2 Trabalhos Futuros

Nesta seção serão apresentadas algumas sugestões de trabalhos futuros, que poderão dar continuidade aos experimentos realizados para esta dissertação. Nos experimentos realizados, considerou-se um ambiente ideal (sem perdas no sinal transmitido e/ou refletido pelas etiquetas). Em trabalhos futuros pode-se considerar perdas de forma a aumentar a acurácia da localização proposta em ambientes reais. Pretende-se aprimorar algoritmo utilizado para posicionamento e definição do RSSI para as etiquetas virtuais. Essa rotina hoje consome 90% do tempo total de todo o mecanismo proposto. Outros métodos de localização também serão verificados de forma a comparar seus resultados com os obtidos neste trabalho. Pretende-se também implementar o algoritmo proposto em um cenário com equipamentos (etiquetas e leitores RFID) reais, a fim de verificar o seu desempenho.

Referências Bibliográficas

- [1] FINKENZELLER, K., HANDBOOK, R., “Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication . Hoboken”, 2010.
- [2] NI, L. M., LIU, Y., LAU, Y. C., et al., “LANDMARC: indoor location sensing using active RFID”, *Wireless networks*, v. 10, n. 6, pp. 701–710, 2004.
- [3] ZHAO, Y., LIU, Y., NI, L. M., “VIRE: Active RFID-based localization using virtual reference elimination”. In: *Parallel Processing, 2007. ICPP 2007. International Conference on*, pp. 56–56, 2007.
- [4] WANG, C., WU, F., SHI, Z., et al., “Indoor positioning technique by combining RFID and particle swarm optimization-based back propagation neural network”, *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, v. 127, n. 17, pp. 6839–6849, 2016.
- [5] PU, C.-C., PU, C.-H., LEE, H.-J., *Indoor location tracking using received signal strength indicator*. INTECH Open Access Publisher, 2011.
- [6] LEI, Q., “A New RSSI-based Centroid Localization Algorithm by Use of Virtual Reference Tags”, 2013.
- [7] BU, K., LIU, X., LI, J., et al., “Less is more: Efficient RFID-based 3D localization”. In: *Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS), 2013 IEEE 10th International Conference on*, pp. 86–94, 2013.
- [8] HAN, J., ZHAO, Y., CHENG, Y. S., et al., “Improving accuracy for 3D RFID localization”, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012.

- [9] QIAN, C., NGAN, H., LIU, Y., et al., “Cardinality estimation for large-scale RFID systems”, *IEEE transactions on parallel and distributed systems*, v. 22, n. 9, pp. 1441–1454, 2011.
- [10] LIU, Y., ZHAO, Y., CHEN, L., et al., “Mining frequent trajectory patterns for activity monitoring using radio frequency tag arrays”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, v. 23, n. 11, pp. 2138–2149, 2012.
- [11] ZHENG, Y., LI, M., “PET: Probabilistic estimating tree for large-scale RFID estimation”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, v. 11, n. 11, pp. 1763–1774, 2012.
- [12] PARKINSON, B. W., ENGE, P., AXELRAD, P., et al., *Global positioning system: Theory and applications, Volume II*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.
- [13] GLOVER, B., BHATT, H., *RFID essentials*. "O'Reilly Media, Inc.", 2006.
- [14] DOBKIN, D. M., *The rf in RFID: uhf RFID in practice*. Newnes, 2012.
- [15] EPCGLOBAL, E., “Radio-Frequency Identity Protocols Generation-2 UHF RFID specification for RFID air interface protocol for communications at 860 MHz–960 MHz, version 2.0. 0”, *GS1, EPCglobal*, 2013.
- [16] MEIJERING, E., “A chronology of interpolation: From ancient astronomy to modern signal and image processing”, *Proceedings of the IEEE*, v. 90, n. 3, pp. 319–342, 2002.
- [17] RUGGIERO, M. A. G., LOPES, V. L. D. R., *Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais*. Makron Books do Brasil, 1997.
- [18] FERRAZ, E. S., CARVALHO, C. B., “Localização 3D em sistemas RFID com leitor móvel”, *arXiv preprint arXiv:1706.00446*, 2017.
- [19] SHOARINEJAD, K., SOLTAN, M., MOSHFEGHI, M., “Rfid location systems and methods”, Nov. 16 2017, US Patent App. 15/608,961.

- [20] PAREDES F., CAIRÓ, I., ZUFFANELLI, S., et al., “Compact design of UHF RFID and NFC antennas for mobile phones”, *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, v. 11, n. 7, pp. 1016–1019, 2017.
- [21] SCHATZ, S. V., SPIESS G. N., TERNES T., et al., “Utilization of motion and spatial identification in mobile rfid interrogator”, July 4 2017, US Patent 9,697,397.
- [22] SON, Y., JOUNG, M., LEE, Y.-W., et al., “Tag localization in a two-dimensional RFID tag matrix”, *Future Generation Computer Systems*, v. 76, pp. 384–390, 2017.
- [23] SEOL, S., LEE, E.-K., KIM, W., “Indoor mobile object tracking using RFID”, *Future Generation Computer Systems*, v. 76, pp. 443–451, 2017.
- [24] MOTRONI, A., BUFFI, A., NEPA, P., “Localization of a mobile device equipped with an RFID reader”. In: *RFID Technology & Application (RFID-TA), 2017 IEEE International Conference on*, pp. 74–79, 2017.
- [25] LUCENA FILHO, W. D. C., CARVALHO, C. B., OTHERS, “Mecanismo de controle de potência para estimativa de etiquetas em redes de identificação por rádio frequência”, 2015.
- [26] LUCENA FILHO, W. C., CORDEIRO L. C., DA SILVA JUNIOR, W. S., CARVALHO, C. B., et al., “A Power Control and Anticollision Mechanism for RFID Systems”, *IEEE Latin America Transactions*, v. 15, n. 10, pp. 1933–1940, 2017.
- [27] FILHO, W. D., FERRAZ E. D., JUNIOR, W. S., et al., “Power Control and Anticollision Mechanism for RFID Systems”, *Adhoc Sensor Wireless Networks*, v. 42, n. 1-2, pp. 107–124, 2018.
- [28] MENNER, W. A., “Introduction to modeling and simulation”, *Johns Hopkins APL Technical Digest*, v. 16, n. 1, pp. 6–17, 1995.
- [29] MARIA, A., “Introduction to modeling and simulation”. In: *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation*, pp. 7–13, 1997.

- [30] BALCI, O., “Verification validation and accreditation of simulation models”. In:
Proceedings of the 29th conference on Winter simulation, pp. 135–141, 1997.