

**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE DEFESA**

**GREGORIO ITIRO OCHIAI SEIXAS**

**POSICIONAMENTO DE ETIQUETAS RFID POR RECEPTORES MÓVEIS**

**Rio de Janeiro**

**2012**

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**TEN CEL COM GREGÓRIO ITIRO OCHIAI SEIXAS**

**POSICIONAMENTO DE ETIQUETAS RFID POR RECEPTORES MÓVEIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Defesa do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Defesa.

Orientador: Prof. Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva – D.E.

Orientador: Prof. Alberto Gaspar Guimarães – D.Sc.

Rio de Janeiro

2012

c2012

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro - RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do autor e dos orientadores.

355.5 Seixas, Gregório Itiro Ochiai  
S462 Posicionamento de Etiquetas RFID por Receptores Móveis / Gregório Itiro Ochiai Seixas. - Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2012.

81 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, 2012.

1. Engenharia de Defesa (teses e dissertações). 2. Posicionamento. 3. Radio-localização. 4. RFID. 5. RSSI. 6. Trilateração.

CDD 355.5

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**TEN CEL GREGÓRIO ITIRO OCHIAI SEIXAS**

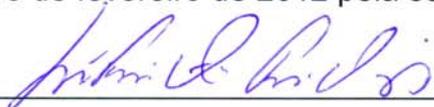
**POSICIONAMENTO DE ETIQUETAS RFID POR RECEPTORES MÓVEIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Defesa do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Defesa.

Orientadores: Prof. Dr. Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva – D.E.

Orientadores: Prof. Dr. Alberto Gaspar Guimarães – D.Sc.

Aprovada em 08 de fevereiro de 2012 pela seguinte Banca Examinadora:



Prof. Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva – D.E. do IME - Presidente



Prof. Alberto Gaspar Guimarães – D.Sc. do IME



Prof. Leonardo Castro de Oliveira - D.E. da IME



Prof. Felipe Aurélio Caetano de Bastos - D.Sc. da ECEME



Prof. Flávio Luis de Mello - D.Sc. da UFRJ

Rio de Janeiro

2012

Dedico a minha esposa Daniela e a meu filho Pedro, pelo amor, tempo, carinho e imensa compreensão, pois foi a que mais teve que ceder e ter paciência para que eu conseguisse realizar esse sonho.

## AGRADECIMENTOS

Para Minha Mãe de Amor desmedido, silencioso e presente em todas as minhas conquistas, ao meu Pai os ensinamentos e exemplos da vida, onde quer que o Senhor esteja, à minha querida irmã que sempre me incentivou a ir em frente, aos meus irmão Albano e Rodrigo, pela motivação e crença. Ao meu Tio Yashiro que sempre me incentivou rumo ao meu objetivo, a Tia Masako pelos ensinamentos de perseverança, onde a Senhora estiver. A Tia Iris pelos primeiros passos na matemática e o Tio Toshio pela palavras de motivação.

Ao Exército Brasileiro e ao Instituto Militar de Engenharia pela oportunidade de realização do Curso Mestrado em Engenharia de Defesa.

Ao Professor Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva, pela orientação, pelos incentivos e pelas palavras. Ao Ten Cel Alberto Gaspar Guimarães, pela orientação, incentivos e paciência durante a realização do Curso. Ao Professor Leonardo que nos motivou e nos fez acreditar, ainda que ao amanhecer, que éramos dignos deste objetivo, aos meus Orientadores que me impulsionaram para esta conquista.

Aos meus amigos irmãos Medeiros e Gláucia por todas as “pegadas” na areia! Aos amigos Ricardo e Nina pelo apoio em todas as horas esperadas e inesperadas.

Ao Professor Benevento os incentivos e apoio firme. A minha amiga Izabela sempre presente em todas as horas necessárias e cruciais. Aos colegas da pós-graduação, especialmente, aos amigos Oberdan, Renan, Benevento, Ferrari, Andrezzo, Vanessa, Ricardo Valle, Toscano, Cardoso e Cel Figueiredo.

Ao Gen Barroso Magno pela oportunidade concedida a este combatente da Arma de Comunicações. Ao St Uésiles, do DCT, o qual agilizou a condução de todas as documentações. Ao Professor Ricardo, da Universidade Estácio de Sá, pelo apoio na carta de recomendação para o ingresso neste curso. Ao Forte São João e ao Regimento Andrade Neves pela seção das áreas de teste, necessária à obtenção de dados utilizados na pesquisa.

Ao Departamento de Ensino de Engenharia Cartográfica (SE/6) e Departamento de Engenharia de Defesa pelo total apoio no decorrer do Curso. Aos funcionários civis e militares do Departamento de Engenharia Cartográfica e Engenharia de Defesa, que direta ou indiretamente, colaboraram com este trabalho. Ao Corpo de Alunos, pelo apoio em todas as situações, através do Major Gimba.

“A profunda alegria do coração deve ser sempre como uma bússola a guiar o seu caminho na vida. Você deve segui-la sempre, mesmo que entre por trilhas repletas de dificuldades.”

MADRE TEREZA DE CALCUTÁ

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....  | 9         |
| LISTA DE TABELAS .....  | 11        |
| LISTA DE ABREVIATURAS .....   | 12        |
| LISTA DE SIGLAS .....   | 13        |
| <br>  |           |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>16</b> |
| 1.1. Posicionamento do Trabalho Proposto .....  | 16        |
| 1.2. Justificativa do Trabalho .....  | 17        |
| 1.3. Objetivo da Dissertação .....  | 18        |
| 1.4. Organização da Dissertação .....   | 19        |
| <b>2. FT E RFID: ASPECTOS RELEVANTES .....</b>  | <b>20</b> |
| 2.1. Emprego Militar .....  | 20        |
| 2.1.1. A Força Tarefa .....   | 20        |
| 2.1.2. O Conceito de uma Força Tarefa (FT) .....  | 21        |
| 2.1.3. Características .....  | 22        |
| 2.2. RFID .....   | 25        |
| 2.2.1. Posicionamento .....   | 26        |
| 2.2.2. Tipo de Localização (por Tempo, Ângulo, Fase, e RSSI) .....                            | 27        |
| 2.3. Conclusão .....  | 29        |
| <b>3. DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DO SINAL<br/>RECEBIDO E DISTÂNCIA .....</b> | <b>30</b> |
| 3.1. Introdução .....   | 30        |
| 3.2. Características do Leitor e Transmissor RFID utilizados nos Experimentos                 | 31        |
| 3.3. Modelo Matemático Adotado .....  | 33        |
| 3.4. Resultados Obtidos e Análise .....   | 35        |
| 3.4.1. Primeiro Experimento no Instituto Militar de Engenharia (Ime1) .....                   | 35        |
| 3.4.2. Segundo Experimento no Instituto Militar de Engenharia (Ime2) .....                    | 37        |
| 3.4.3. Primeiro Experimento no Forte São João (Fsj1) .....                                    | 39        |
| 3.4.4. Segundo Experimento no Forte São João (Fsj2) .....                                     | 45        |
| 3.4.5. Experimento no Regimento Andrade Neves (Ran) .....                                     | 47        |
| 3.4.6. Comparação dos Resultados de Erro Médio .....  | 48        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.5.      | Conclusão .....   | 50        |
| <b>4.</b> | <b>SIMULAÇÃO E RESULTADOS .....</b>                                   | <b>52</b> |
| 4.1.      | Introdução .....  | 52        |
| 4.1.1.    | Solução pelo Método de Mínimos Quadrados (MMQ) .....                  | 52        |
| 4.1.2.    | Solução pelo Método de Mínimos Quadrados Ponderados (MMQP) .....      | 54        |
| 4.2.      | Simulação .....   | 56        |
| 4.2.1.    | Condições de Execução .....   | 56        |
| 4.2.2.    | Resultados para 4 Carros (Fixos) e 8 Carros .....                     | 60        |
| 4.2.3.    | Resultados Considerando apenas as Menores Leituras de $\hat{d}$ ..... | 66        |
| 4.3.      | Conclusão .....   | 73        |
| <b>5.</b> | <b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>                           | <b>75</b> |
| 5.1.      | Conclusões .....  | 75        |
| 5.2.      | Trabalhos Futuros .....   | 76        |
| <b>6.</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                               | <b>78</b> |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|        |  |    |
|--------|--|----|
| FIG.1  | FT cavalaria e infantaria do manual C 17 – 20 (BRASIL(1), 2002)  | 21 |
| FIG.2  | Tipos de Formação para um pelotão FT   | 25 |
| FIG.3  | Posicionamento por Trilateração de um etiqueta (Target) por três receptores (Antenna) com medição da intensidade do sinal (RSSI) e estimação de distância (KO, 2010) | 28 |
| FIG.4  | Diagrama de atividades empregadas empregada  | 31 |
| FIG.5  | Relação volts x dBm (dados do fabricante)  | 32 |
| FIG.6  | Esquema de coleta de dados   | 33 |
| FIG.7  | Retas calculadas com os dados lidos em IME1 usando a <i>tag</i> Lsv  | 36 |
| FIG.8  | Retas calculadas com os dados lidos em IME2 usando a <i>tag</i> Lsv  | 38 |
| FIG.9  | Retas calculadas com os dados lidos em IME2 usando a <i>tag</i> Keg  | 39 |
| FIG.10 | Imagens do experimento no Forte São João   | 40 |
| FIG.11 | Retas calculadas com os dados lidos em FSJ1 usando a <i>tag</i> Lsv  | 41 |
| FIG.12 | Erro ( $ d_i - \hat{d}_i $ ) dos dados lidos em FSJ1 usando a <i>tag</i> Lsv   | 41 |
| FIG.13 | Resultados do algoritmo 1 para RFID-Lsv-FSJ1-Leituras até 100 com três “outliers” e até 200 metros com oito “outliers”   | 43 |
| FIG.14 | Retas calculadas com os dados lidos em FSJ1 usando a <i>tag</i> Lsv  | 44 |
| FIG.15 | Retas calculadas com os dados lidos em FSJ1 usando a <i>tag</i> Keg  | 44 |
| FIG.16 | Reta calculada com os dados lidos em FSJ2 usando a <i>tag</i> Keg  | 45 |
| FIG.17 | Retas calculadas com os dados lidos em FSJ2 usando a <i>tag</i> Lsv  | 46 |
| FIG.18 | Retas calculadas com os dados lidos em FSJ2 usando a <i>tag</i> Keg  | 46 |
| FIG.19 | Retas calculadas com os dados lidos em RAN usando a <i>tag</i> Lsv   | 47 |
| FIG.20 | Retas calculadas com os dados lidos em RAN usando a <i>tag</i> Keg   | 48 |
| FIG.21 | Posições relativas dos veículos blindados ( $CC_{x,y}$ ) dotados de readers e dos soldados fuzileiros desembarcados ( $Psd_{x,y}$ ) portadores de tags ativas        | 57 |
| FIG.22 | Posições relativas dos soldados fuzileiros no interior do dispositivo FT, eixo 1   | 58 |
| FIG.23 | Posições relativas dos soldados fuzileiros ao lado dos CC do dispositivo FT, eixo 2  | 58 |
| FIG.24 | Posições relativas dos soldados fuzileiros na frente do dispositivo FT,  |    |

|  |    |
|--|----|
| eixo 3 .....   | 59 |
| FIG.25 Posições relativas dos CC e VB da extremidade do dispositivo FT para 4 Carros (fixos) .....     | 61 |
| FIG.26 Posições centrais de <i>Psd</i> no dispositivo FT para 4 Carros (fixos) .....                   | 61 |
| FIG.27 Posições mais externas de <i>Psd</i> no dispositivo FT para 4 Carros (fixos) ...                | 62 |
| FIG.28 Posições relativas aos oito veículos blindados (CC e VB) do dispositivo FT, para 8 Carros ..... | 64 |
| FIG.29 Posições centrais de <i>Psd</i> no dispositivo FT, para 8 Carros .....                          | 64 |
| FIG.30 Posições mais externas de <i>Psd</i> no dispositivo FT, para 8 Carros .....                     | 65 |
| FIG.31 Posições mais externas de <i>Psd</i> no dispositivo FT, para 8 Carros .....                     | 67 |

## LISTA DE TABELAS

|         |   |    |
|---------|---|----|
| TAB. 1  | Coeficientes $\hat{n}$ e $\hat{\alpha}$ para o experimento IME1   | 37 |
| TAB. 2  | Coeficientes $\hat{n}$ e $\hat{\alpha}$ para o experimento IME2   | 39 |
| TAB. 3  | Resultados obtidos para $\varepsilon_m$ com o algoritmo 1   | 43 |
| TAB. 4  | Comparação dos erros  | 49 |
| TAB. 5  | Valores de $\hat{n}$ e $\hat{\alpha}$ “outliers”  | 50 |
| TAB. 6  | Resultado da simulação para quatro receptores após 10.000 realizações.....  | 63 |
| TAB. 7  | Resultado da simulação para oito receptores após 10.000 realizações....   | 66 |
| TAB. 8  | Resultado da simulação de 3 a 8 receptores, média dos resultados para 10.000 realizações, com a abordagem menor $\hat{d}$ . | 68 |
| TAB. 9  | Resultado da simulação para 3 receptores, média dos resultados para 50.000 realizações, coma a abordagem menor $\hat{d}$ .  | 69 |
| TAB. 10 | Resultado da simulação para um arranjo de 3 receptores em 8, em 10.000 realizações em relação a $Psd_{(125,10)}$            | 72 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|        |   |  |
|--------|---|--|
| A/DOA  | - | <i>Angle/Direction Of Arrival</i>                        |
| AC     | - | Anti Carro   |
| Bld    | - | Blindado   |
| C2     | - | Comando e Controle                                       |
| CC     | - | Carros de Combate  |
| Cmt    | - | Comandante   |
| DGPS   | - | <i>Differential Global Positioning System</i>            |
| EAD    | - | Estratégia Nacional de Defesa                            |
| FSJ1   | - | Primeiro Experimento no Forte São João                   |
| FSJ2   | - | Segundo Experimento no Forte São João                    |
| FT     | - | Força Tarefa   |
| Fuz    | - | Fuzileiro  |
| GNSS   | - | <i>Global Navigation Satellite System</i>                |
| GPS    | - | <i>Global Positioning System</i>                         |
| IFF    | - | <i>Identify Friend or Foe</i>                            |
| IME1   | - | Primeiro Experimento no IME                              |
| IME2   | - | Segundo Experimento no IME                               |
| Keg    | - | Identificação da Tag                                     |
| LORAN  | - | <i>Long Range Navigation</i>                             |
| LSF    | - | Reta Ajustada por MMQ sem os “Outliers”                  |
| LST    | - | Reta Ajustada por MMQ para todos os Pontos               |
| Lsv    | - | Identificação da Tag                                     |
| MMQ    | - | Método de Mínimos Quadrados                              |
| MMQP   | - | Método de Mínimos Quadrados Ponderados                   |
| NNSS   | - | <i>Navy Navigation Satellite System/Transit</i>          |
| NTRIP  | - | <i>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol</i> |
| reader | - | Equipamentos Leitores do Sinal RFID                      |
| RFID   | - | <i>Radio Frequency Identification</i>                    |
| RSSI   | - | <i>Received Signal Strength Indicator</i>                |
| RTCM   | - | <i>Radio Technical Commission of Maritime Services</i>   |
| Sd     | - | Soldado  |
| SU     | - | Subunidade   |
| tag    | - | Equipamentos Transmissores RFID                          |
| TDOA   | - | <i>Time Difference Of Arrival</i>                        |
| TOA    | - | <i>Time Of Arrival</i>                                   |
| VB     | - | Veículo Blindado   |
| VBR    | - | Viaturas Blindadas de Reconhecimento                     |
| VBTP   | - | Viatura Blindada de Transporte de Tropas                 |

## LISTA DE SIGLAS

|        |  |
|--------|--|
| CTEx   | Centro Tecnológico do Exército                                     |
| DCT    | Diretoria de Ciência e Tecnologia                                  |
| DOMPSA | Batalhão de Dobragem, Manutenção de Pára-quadras e Suprimento pelo |
| EB     | Exército Brasileiro  |
| FSJ    | Forte São João   |
| IME    | Instituto Militar de Engenharia                                    |
| RAN    | Regimento Andrade Neves  |
| SCTEx  | Sistema de Ciência e Tecnologia do Exército                        |

## RESUMO

O conhecimento da posição de pessoas e objetos tem seu valor agregado à própria sobrevivência, ao comércio, à segurança, dentre outras aplicações. No meio militar esta informação é crucial para o planejamento e execução das ordens de operações táticas e estratégicas. Através da revisão bibliográfica foi possível notar a grande ênfase que é dada ao emprego do RFID com o objetivo de se obter dados de posicionamento, sendo relativamente bem explorada para ambientes “*indoor*” ou como ferramenta complementar ao uso de equipamentos GPS nestes ambientes. Assim este trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade de se utilizar etiquetas RFID, em ambientes externos, para aquisição de dados de posicionamentos de soldados fuzileiros em relação a veículos blindados. Foram realizados ensaios com a utilização de etiquetas RFID para o estudo da relação entre a intensidade do sinal recebido (do inglês, Received Signal Strength Indicator – RSSI) e a distância. Os dados obtidos foram analisados e o modelo  $RSSI \propto d^{-n}$  definido serviu de referência para a execução de um grande conjunto de simulações de posicionamento em teatros de combate tipicamente considerados pelo Exército Brasileiro. O desempenho do posicionamento nestes cenários foi avaliado e conclusões obtidas a respeito da viabilidade do uso do RFID na aplicação em questão.

## **ABSTRACT**

Knowledge of the position of people and objects has its value aggregated to survival itself, trade, and security, among other applications. Within the Military, this information is indispensable to the planning and execution of tactical and strategic actions. Current scientific literature places great emphasis on the choice of RFID as a tool to obtain localization data, and related technology is well developed for indoor applications or as a complementary tool to the use of GPS equipment in these environments. The work hereby presented aims at determining the feasibility of using RFID tags outdoors for acquiring data on positioning of soldier marines relative to armored vehicles. Assays were performed with the use of RFID tags to study the relation between the intensity of the received signal (English, Received Signal Strength Indicator - RSSI) and distance. The data were analyzed and the model defined RSSI  $xd$  served as reference for the the implementation of a large set of simulations positioning in combat theaters typically considered by the Brazilian Army. The positioning performance of these scenarios was evaluated and conclusions drawn about the feasibility of using RFID in the application in question.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 POSICIONAMENTO DO TRABALHO PROPOSTO

Desde a antiguidade o homem busca um meio de se localizar, seja pelo reconhecimento visual do terreno utilizando como pontos de referência montanhas, rios, lagos etc., seja pela posição do sol, das estrelas e até mesmo da direção do vento. O conhecimento do movimento das estrelas e a nomeação de certos aglomerados astronômicos facilitaram a navegação. Com a invenção da bússola e do astrolábio, o advento das “Grandes Navegações” foi possível. O limite e as demarcações de fronteiras necessitavam de melhores técnicas de posicionamento.

Há alguns anos foram introduzidas novas técnicas de localização utilizando, por exemplo, a medida da direção e intensidade do sinal que chega até um receptor. Estas técnicas foram aperfeiçoadas em paralelo à evolução da eletrônica, acompanhando a invenção dos transistores, do circuito integrado, da eletrônica digital, da microeletrônica e da computação de dados lógicos (Computação booleanos, George Boole, GILLISPIE, 1970). Assim foi conseguida a evolução das técnicas de Rádio-localização para *Long Range Navigation* (LORAN), nas quais o tempo relativo de chegada do sinal em três estações permitiu uma localização mais precisa de embarcações.

Com o lançamento dos primeiros satélites de navegação abriu-se a porta para novas possibilidades e empregos de métodos de localização. Na área espacial o sistema *Navy Navigation Satellite System* (NNSS), também conhecido como *Transit*, cujas medidas eram baseadas no efeito Doppler (SEEBER, 2003), utilizava o sinal de certos satélites para determinação da posição no globo terrestre. Esta tecnologia foi a precursora dos sistemas de posicionamento global, que na forma atual é chamada de *Global Navigation Satellite System* (GNSS) (MONICO, 2007).

O conhecimento da posição de objetos e pessoas num contexto tático e estratégico aumenta a segurança, a coordenação, a segurança, o comando e o controle, propriedades fundamentais de uma Estratégia Nacional de Defesa (END,

BRASIL (8), 2008). Assim, a solução deste problema com pesquisas proprietárias se torna uma prioridade.

O conceito de identificação por frequências rádio (RFID, do inglês *Radio Frequency Identification*) evoluiu com a eletrônica, em todos os seus horizontes, tendo uma de suas primeiras aplicações a identificação de aeronaves por Ingleses e Alemães, por métodos distintos (LANDT, 2001). Esta técnica deu origem ao primeiro identificador ativo de amigo ou inimigo o, IFF– *Identify Friend or Foe*, (DoD, 2011), sendo seu emprego praticamente restrito à área militar e posteriormente abrangendo a aviação civil, mesmo assim com seu uso todo direcionado à aviação.

Com a própria evolução da eletrônica para microeletrônica e a diminuição do custo destes componentes, o conceito de RFID passou a ser novamente empregado em larga escala (PARET, 2009), utilizados na cadeia logística para rastreamento (SWEENEY, 2005; FINKENZELLER, 2010) e no controle de acesso, pedágios e competições desportivas (GLOVER e BHATT, 2006). A utilização de RFID em sistemas internos e externos de localização tem sido considerada como alternativa à utilização de equipamentos GNSS onde a recepção deste sinal é atenuada por algum motivo (LIMA, 2001).

## 1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O Exército Brasileiro, integrante das Forças Armadas do Brasil, no contexto de um País com potenciais reais e dimensões geopolíticas continentais (CASTRO, 1999), tem como imperativos a elasticidade e a flexibilidade (BRASIL(7). , 2008), a fim de defender os Objetivos Nacionais Permanentes: Democracia, Progresso, Integridade do Patrimônio Nacional, dentre outros.

Para isto o Exército Brasileiro (EB) constitui o Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT), que engloba os mais variados projetos destinados à sua modernização, com objetivo de gerenciar o Sistema de Ciência e Tecnologia do Exército (SCTEx) para produzir os resultados científico-tecnológicos necessários à operacionalidade da Força Terrestre.

Neste sentido, o EB desenvolve pesquisas na área de comando e controle (C2 em Combate, pelo Centro de Desenvolvimento de Sistemas); plataformas de transporte, como a nova Viatura Blindada de Transporte de Tropas (VBTP); sistemas de posicionamento inercial, hodométricos, melhoria na precisão com a pesquisa em GPS (do inglês *Global Positioning System*), em modo de posicionamento diferencial (DGPS) e estudos com *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP). A integração dos sistemas de navegação, comunicação, controle e poder de fogo ficou a cargo do Centro Tecnológico do Exército (CTEx), com o Projeto C2 em Combate.

Considerando os projetos que estão em andamento no Exército e o estudo de suas possibilidades, verificou-se que a pesquisa do emprego do RFID na localização de pessoas e objetos em relação a viaturas blindadas seria interessante na concepção de um sistema de posicionamento que pudesse ter suas funcionalidades replicadas por outros sistemas.

A utilização do RFID com a finalidade de localização de pessoas em áreas abertas e regiões urbanas é explorada por DEL RIO (2010) em seu projeto de fim de curso, sendo precursor desta dissertação.

A motivação desta pesquisa é a obtenção de uma técnica que possa ser utilizada na geração de dados de posicionamento independentemente de sistemas proprietários como o GNSS, sendo portanto uma alternativa, a estes, mesmo que de forma redundante.

### 1.3 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação tem por objetivo específico o estudo da viabilidade de emprego de transmissores de Rádio-freqüência com tecnologia RFID na aquisição de dados de posicionamento em relação a referenciais móveis, no contexto do emprego tático de uma Força Tarefa (FT) composta por veículos blindados e soldados fuzileiros.

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos. Neste capítulo é realizada a introdução e o objetivo deste trabalho, no capítulo 2 são abordados os principais conceitos considerados neste trabalho como o de emprego de veículos blindados acompanhados de soldados a pé, no âmbito do conceito conhecido como Força Tarefa do EB, e sobre as características e possibilidades do RFID aplicado à localização.

O capítulo 3 contém o resultado da modelagem da relação entre intensidade do sinal recebido por um receptor RFID e sua distância do transmissor. Esta modelagem foi possível de ser obtida após a realização de vários experimentos, para o levantamento de dados de intensidade dos sinais do transmissor RFID obtidos em diferentes cenários que proporcionou significativo conjunto de dados referentes às leituras da intensidade dos sinais do transmissor RFID obtidos a partir do receptor RFID.

No capítulo 4 são apresentados os resultados das simulações com o emprego de um algoritmo de posicionamento e filtragem dos dados.

O capítulo 5 apresenta as conclusões da pesquisa bem como sugere temas para futuras pesquisas.

## 2. FT E RFID: ASPECTOS RELEVANTES

### 2.1 EMPREGO MILITAR

Neste capítulo são apresentados os aspectos relevantes do emprego tático de uma Força Tarefa, seu objetivo, constituição, características quanto ao tamanho e velocidade de deslocamento e o emprego com os soldados fuzileiros desembarcados, deslocando-se a pé nas proximidades dos veículos blindados.

No contexto deste trabalho, os Sd Fuz estão dotados de equipamentos transmissores RFID (*tag*) e os veículos blindados (VB) são possuidores de receptores RFID (*readers*). Fuzileiros blindados são soldados que pertencem a unidades blindadas.

#### 2.1.1 A FORÇA TAREFA

O posicionamento de soldados em relação a veículos blindados com a utilização de RFID tem como cenário o emprego da FT, onde as armas de combate trabalham em conjunto para o cumprimento de missões específicas.

Neste trabalho, será abordado o emprego da FT nas seguintes situações: veículos blindados acompanhados pelos Fuz Bld desembarcados seguidos pelas viaturas blindadas de transporte de pessoal (VBTP), como citado na página 5-41, do manual C 17-20; (BRASIL (2), 2002).

Este levantamento é importante para o presente trabalho, pois define o cenário de emprego para posicionamento por RFID dos Sd Fuz, levando-se em conta os carros de combate como as referências de coordenadas conhecidas, por possuírem equipamento GNSS. Este contexto, portanto, será considerado nas simulações realizadas, cujos resultados são apresentados no Capítulo 4.

## 2.1.2 O CONCEITO DE UMA FORÇA TAREFA (FT)

A FT é um agrupamento temporário de forças, de valor unidade ou subunidade (SU), sob comando único, integrado por peças de manobra de natureza e/ou tipos diferentes, formados com o propósito de executar uma operação ou missão específica, que exija a utilização de uma forma peculiar de combate (BRASIL (3), 2005). A FT valor unidade é organizada, adestrada e equipada para a destruição de forças inimigas, seja por meio do combate embarcado, seja por meio do combate desembarcado (BRASIL (2), 2002).

As fontes que tratam especificamente deste assunto no Exército Brasileiro são os manuais de campanha, Forças-Tarefas Blindadas (BRASIL (2), 2002) e Força-Tarefa Subunidade (BRASIL (3), 2005). Os manuais de campanha Regimento de Cavalaria (BRASIL (4), 2002), Batalhões de Infantaria (BRASIL (5), 2003) e Emprego da Cavalaria (BRASIL (6), 1999) tratam do assunto em questão de maneira geral. A publicação DAMEPLAM (BRASIL (7), 2006) se refere aos parâmetros de velocidade de deslocamento e distâncias entre os elementos da FT, que se constituem em dados utilizados nas simulações com o uso da etiqueta RFID. A FIG. 1 ilustra o emprego da arma de Cavalaria e Infantaria na formação de uma FT prevista pelo manual C 17-20 (BRASIL (2), 2002).

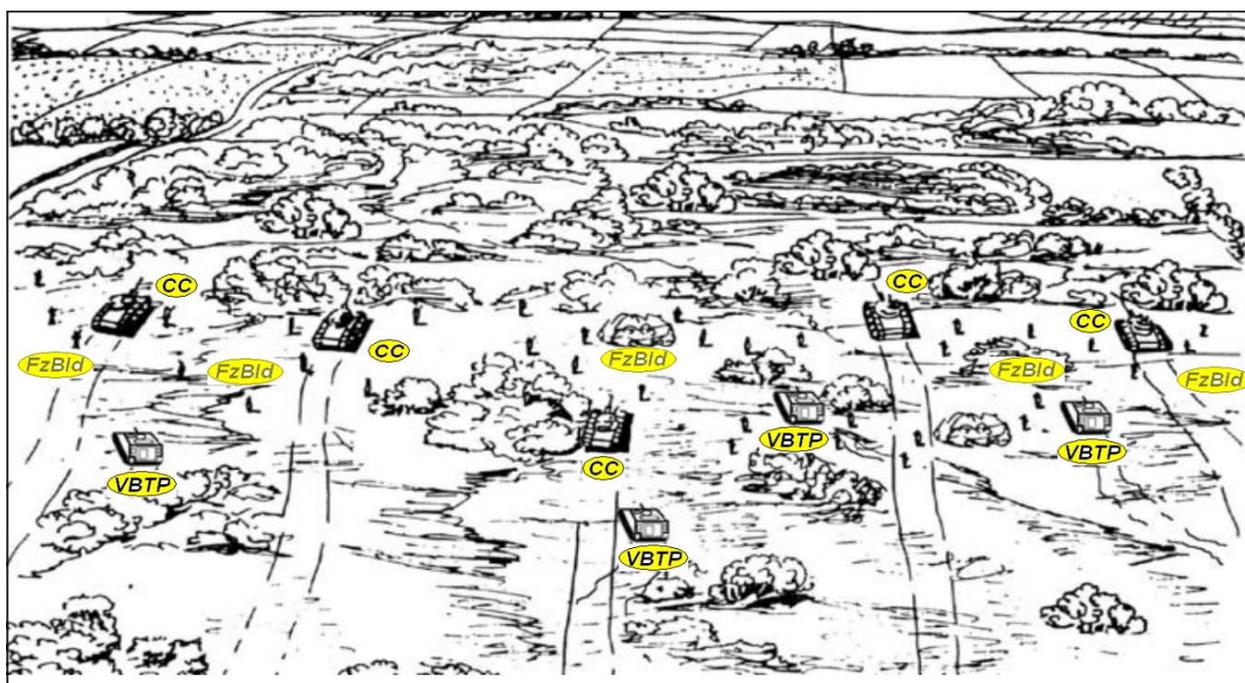


FIG. 1- FT Cavalaria e Infantaria do manual C 17 – 20 (BRASIL(1), 2002).

Nesta situação, considera-se que os soldados fuzileiros desembarcados, dentro do contexto tático da manobra de uma FT, carregam os transmissores RFID. Os veículos blindados (VB), que por sua vez carregam os receptores RFID, são responsáveis por processar as informações para estimar os dados de posição do Sd Fuz. Ainda nesta FIG., pode-se observar a linha de frente para a direção de deslocamento composta pelos CC acompanhados pelos Fz Bld desembarcados e logo a retaguarda, também acompanhando o dispositivo, as VBTP.

### 2.1.3 CARACTERÍSTICAS

O deslocamento da FT pode ser feito em situações de pouca visibilidade, como em bosques, em localidades e sob neblina densa. Quando os CC e Fuz Bld a pé progredirem juntos, os Fuz Bld poderão se colocar entre os CC ou imediatamente à sua retaguarda. Durante a progressão, as posições relativas dos CC e Fuz Bld são ajustadas de acordo com o terreno e a resistência inimiga. Durante o assalto, por exemplo, os Fuz Bld deslocar-se-ão, normalmente, à retaguarda imediata dos CC, de modo a permitir cerrado apoio mútuo, além de beneficiarem-se da proteção dos CC.

Algumas situações de emprego e características da FT com os fuzileiros desembarcados:

- Quando o terreno, obstáculos ou armas Anti Carro (AC) inimigas restringem ou detêm o movimento dos CC, mas permitem o movimento dos Fuz Bld desembarcados, aqueles poderão, temporariamente, apoiar pelo fogo o avanço dos Fuz Bld (BRASIL(1). , 2002; BRASIL(2). , 2005);

- Quando o ataque dos Fuz Bld tiver progredido suficientemente ou tiver sido removido o obstáculo que detinha os CC, estes deverão se deslocar à frente, ultrapassar os Fuz Bld e voltar a liderar o ataque. Este tipo de ação não deve ser confundido com o processo em que os CC somente apóiam pelo fogo, já que a intenção é que os CC participem do assalto ao objetivo (BRASIL(1). , 2002; BRASIL(2). , 2005);

- Quando os CC assaltam sob proteção de munição de tempo de artilharia e morteiros, os Fuz Bld seguem à retaguarda numa distância de segurança dos arrebitamentos, eliminando ou capturando o pessoal inimigo remanescente (BRASIL(4). , 2003);

- O Pelotão FT adotará, normalmente, uma formação em linha para que possa de maneira eficaz vasculhar toda a zona recebida (BRASIL(2). , 2005);

- Os fuzileiros blindados desembarcam durante a progressão quando é necessário apoiar os CC na remoção de obstáculos ou eliminação de armas AC inimigas (BRASIL(1). ,2002);

- O assalto ao objetivo normalmente é feito pelos CC, seguidos pelos fuzileiros blindados desembarcados e pelas VBTP (BRASIL(3). , 2002);

- A velocidade deve ser regulada de modo a evitar um excessivo afastamento dos CC e fuzileiros blindados a pé (BRASIL(1). ,2002);

- Os comandantes dos pelotões Fuz Bld devem realizar coordenação no âmbito dos seus pelotões de maneira que as VBTP progridam logo à retaguarda dos fuzileiros para estarem disponíveis a qualquer momento (BRASIL(3). , 2002).

Resumindo, os fuzileiros blindados deslocam-se desembarcados normalmente ao lado dos veículos blindados ou na retaguarda. Nestas condições, os veículos blindados manterão uma distância média de 50 a 100 metros entre si e os fuzileiros se distribuem com uma distância de até dez metros entre si, normalmente à retaguarda dos veículos blindados. A frente da FT pode ter de 400 a 1.500 metros e a velocidade de deslocamento com os fuzileiros desembarcados é de 100 metros em cinco minutos durante o dia e de 100 metros em doze minutos durante a noite (BRASIL (7), 2006).

A posição relativa dos veículos ou formação em deslocamento é decidida pelo comandante da Força Tarefa constituída, sendo estabelecida em função dos fatores da decisão, ou seja: valor e posição do inimigo; do terreno; das condições do tempo e visibilidade. No entanto, o dispositivo buscado em condições ideais é a formação em linha para o escalão pelotão.

Neste trabalho será estudado o ataque em uma única direção, em condições de pouca visibilidade e com os fuzileiros desembarcados, progredindo à retaguarda ou ao lado dos CC e as VBTP apoiando pelo fogo o movimento dos pelotões. Existem

vários tipos de progressão adotados pelo comandante do escalão FT, que são conhecidos como FORMAÇÃO.

A título de conhecimento, as FIG.s 2 apresentam os possíveis tipos de formação para o nível pelotão. Nas simulações realizadas neste trabalho será considerada uma formação na qual há duas linhas de viaturas blindadas, caracterizada por uma FT SU “menos”, composta por um pelotão CC e um pelotão Fuz Bld. O pelotão CC é composto por quatro carros de combate e o pelotão Fuz Bld é composto por quatro VBTP, totalizando oito veículos blindados para este dispositivo.

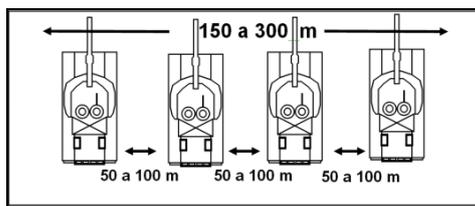


FIG. 2.1 - Formação em Linha

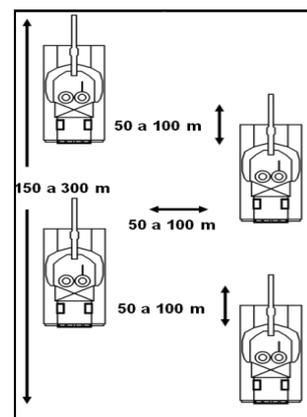


FIG. 2.2 - Formação em Coluna

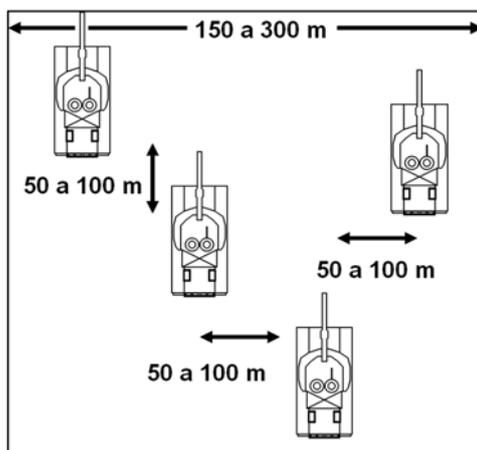


FIG. 2.3 - Formação em Cunha Invertida

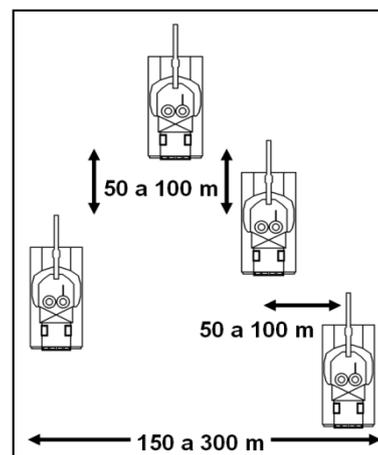


FIG. 2.4 - Formação em Cunha

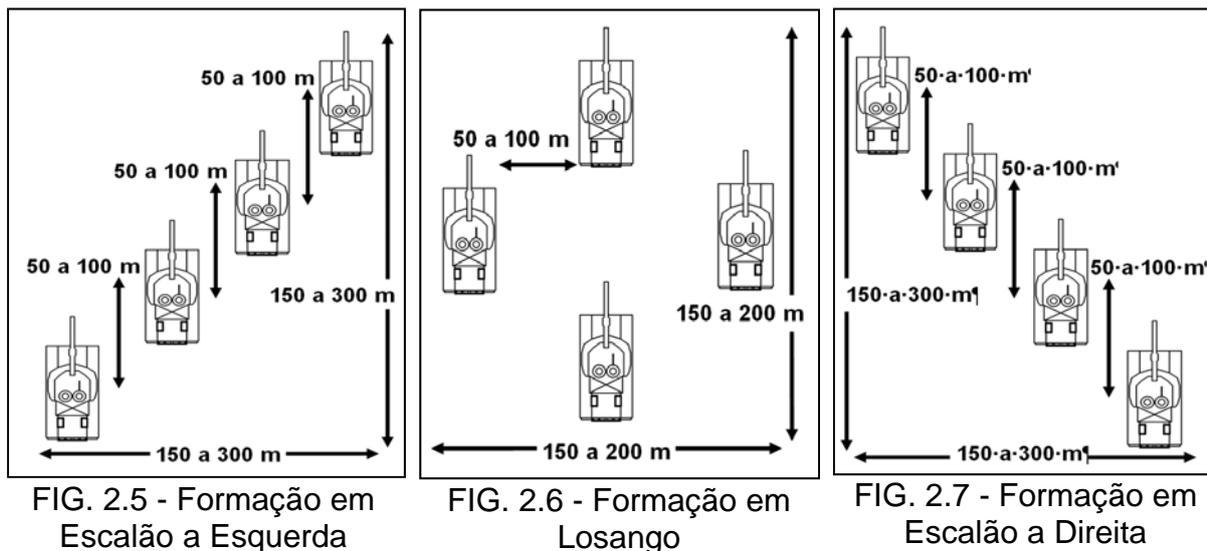


FIG. 2- Tipos de Formação para um pelotão FT, adaptado do manual C 17 – 20 (BRASIL(1), 2002).

## 2.2 RFID

A invenção do RFID é atribuída ao físico escocês Sir Robert Alexander Watson-Watt, resultado da pesquisa e desenvolvimento do IFF (do inglês, *Identify Friend or Foe*) (DoD, 2011), utilizado na Segunda Guerra Mundial pela aviação inglesa. Nos dias atuais, com a evolução da eletrônica e barateamento dos *microchips*, esta tecnologia está presente em grandes cadeias comerciais para controle de estoque e rastreamento de mercadorias como WALLMART, FEDEX (GLOVER e BHATT, 2006) e em competições esportivas.

Na área militar o RFID é utilizado no controle de estoque pelo Departamento de Defesa dos EUA (SWEENEY, 2005), e no EB, na identificação e manutenção de paraquedas pelo Batalhão de Dobragem, Manutenção de páraquedas e Suprimento pelo Ar (DOMPSA) (SANTOS, 2006). Também é empregado na identificação remota de contêineres, controle de pedágio e estacionamentos (GLOVER E BHATT, 2006).

RFID é uma tecnologia sem fio que permite a identificação remota de objetos e que, por conceito, utiliza ondas eletromagnéticas para envio destas informações. O sistema RFID é composto pela etiqueta RFID (*tag*), pelo leitor RFID (*readers*) e um

meio de comunicação entre o *readers* e o sistema para armazenamento dos dados chamado de *Middleware* (SWEENEY, 2005).

A *tag* é constituída por um chip, uma fonte geradora de energia, a antena e um invólucro protetor. Pode ser classificada de acordo com a frequência de operação, a fonte de energia utilizada e o método de comunicação com o *reader*. Pode armazenar desde um *bit* até uma grande quantidade de dados, sendo o preço diretamente proporcional à complexidade destes circuitos. Algumas *tags* tem um uso ainda mais específico, pois podem ser dotadas de sensores térmicos, barométricos, de movimento, de batimento cardíaco, freqüencímetros, sensores de presença, etc. (PARET, 2009).

Basicamente a *tag* é classificada em dois grandes grupos:

- *tags* passivas, que não têm fonte interna de energia e assim utilizam parte da potência transmitida pelo *reader*. Neste caso a quantidade de informação gravada no *chip* é limitada, bem como suas características de emprego e distância de utilização com alcance de até 30 metros (RFICAMP, 2012);

- *tags* ativas, que têm fonte de energia própria, podem desempenhar as mais variadas funções (BOLIC, 2010), limitadas apenas pela necessidade do usuário. A distância de utilização destas etiquetas pode chegar a mais de 500 metros em alguns casos (HUANG et al, 2006).

Neste trabalho são utilizados RFID ativos que contem uma fonte de energia própria e que permitem a transmissão de um sinal cuja potência, na recepção, é suficientemente alta para estabelecer a relação entre o *RSSI* (do inglês *Received Signal Strength Indicator*) e a distância entre o transmissor e receptor.

### 2.2.1. POSICIONAMENTO

O RFID é um sistema de identificação sem fio, mas, recentemente, o rastreamento e o posicionamento de produtos, objetos e pessoas em áreas cobertas por *readers* recebeu especial atenção na literatura científica e na indústria (OKTEM et al, 2008). Técnicas de localização com RFID são pesquisadas em BOUET e SANTOS, 2008; SANPECHUDA e KOVAVISARUCH, 2008; ZHOU e SHI, 2008;

BHATIA et al, 2009; KO, 2010; GOMES, 2007; HUANG et al, 2006; BOLIC, 2010; DEL RIO, 2010; entre outros.

A aplicação do RFID para posicionamento depende da distância envolvida, das características técnicas do receptor e transmissor e da capacidade de leitura do equipamento, que influenciará diretamente na técnica de posicionamento. A utilização desta tecnologia a uma distância de emprego de 1 metro é suficiente para a maioria dos casos (INGRAN et al, 2004) em que se necessite a identificação de objetos em substituição ao código de barras.

Um sistema de localização é genericamente constituído por três partes diferentes: sensores fixos, módulos móveis e um elemento gestor da rede de dispositivos ou sensores (*middleware*), quando estes existem (GOMES, 2007). No caso deste trabalho os leitores estão localizados nos veículos blindados (*reader*) e os módulos “móveis” (*tags*) nos soldados fuzileiros. O elemento gestor será um módulo que poderá compor o sistema C2 em combate (BRASIL(8). , 2001), processando as informações lidas e que serviriam para obter dados de posicionamento. Notando-se que o sistema rádio previsto para a nova família de blindados (LAAD, 2011) vem com módulo de rede *ethernet* e sistema GNSS, interligando-se ao sistema C2 em combate, este trabalho pode aproveitar a funcionalidade acima mencionada para ampliar a capacidade de C2 da tropa do Exército Brasileiro.

### 2.2.2. TIPO DE LOCALIZAÇÃO (POR TEMPO, ÂNGULO, FASE, RSSI)

As técnicas de localização são baseadas em: Tempo de Chegada ou *Time of Arrival* (TOA); Diferença entre os Tempos de Chegada do sinal ou *Time Difference of Arrival* (TDOA); ângulo de recepção do sinal ou *Angle/Direction of Arrival* (A/DOA); medição da intensidade do sinal ou *RSSI* (KONG et al, 2004; BHATIA et al, 2009).

As técnicas TOA e TDOA tem uma maior dificuldade para serem implementadas, pois necessitam de uma sincronização precisa entre as *tags* e os *readers* (BOLIC et al, 2010). A técnica A/DOA necessita de leitores com múltiplas antenas que possibilitem medir a diferença da fase do sinal transmitido entre cada antena de

modo a possibilitar o cálculo da direção. Esta exigência torna pouco interessante a adoção deste sistema devido ao custo de instalação (GUIMARÃES e GRIVET, 2004), sem falar na complexidade e tamanho, que pode afetar a mobilidade dos veículos blindados. Neste caso são necessários um mínimo de dois grupos de antenas, sendo o mais comum o uso de três grupos que determinam uma área referente à posição da *tag*. Pode ser utilizada uma combinação entre a estimação de direção e da distância através do *RSSI* para determinação da posição da *tag*, desde que a precisão não seja crítica (BOLIC et al,2010).

O tipo de *reader* utilizado neste trabalho executa as leituras de *RSSI* em volts, que são convertidos em dBm com o uso de uma TAB. de conversão fornecida pelo fabricante (ANANIAH, 2012). De posse destes valores é possível estabelecer um modelo *RSSI* x distância que fornecerá os dados de distância entre a *tag* e os *readers*. Aplicando-se as distâncias em um algoritmo de trilateração (BOLIC et al,2010), pode-se obter a posição estimada do Fuz Bld.

A FIG. 3 (KO, 2010) apresenta uma situação onde são utilizados três receptores (*antenna*) que fazem a leitura *RSSI* do transmissor (*target*) com estimação de distância para cada referência, executando-se assim o algoritmo de trilateração para o cálculo da posição estimada do *target*.

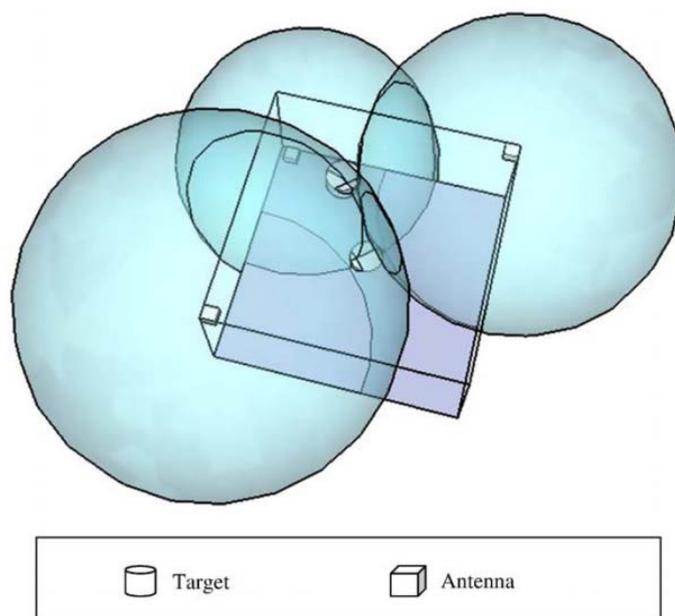


FIG. 3- Posicionamento por Trilateração de um etiqueta (*Target*) por três receptores (*Antenna*) com medição da intensidade do sinal (*RSSI*) e estimação de distância (KO, 2010)

## 2.3 CONCLUSÃO

Neste capítulo foram abordados os principais conceitos deste trabalho como a definição e emprego de uma FT, o conceito e características dos equipamentos RFID e os tipos de métodos mais utilizados para obtenção de dados de posicionamento.

Optou-se pela utilização de uma FT constituída por um pelotão de carros de combate e um pelotão de soldados fuzileiros blindados. Neste contexto, este tipo de formação apresenta quatro CC e quatro VBTP num total de oito veículos blindados e quarenta soldados fuzileiros.

Observou-se que a formação em linha para este tipo de emprego, independentemente da escolha do comandante da FT e dos fatores de decisão (missão, terreno, meios, inimigo, condições climáticas), é a que tem maior probabilidade de ser utilizada com os soldados desembarcados principalmente em função do comando, controle e segurança do dispositivo.

O equipamento RFID que melhor atender este trabalho são os RFID ativos, que contem uma fonte de energia própria e que permitem a transmissão de um sinal cuja potência, na recepção, é suficientemente alta para estabelecer a relação entre *RSSI* e distância entre o transmissor e receptor.

Com o uso de *readers* com capacidade de fazer leituras de *RSSI* é possível estabelecer um modelo *RSSI* x distância que forneça as distâncias estimadas entre a *tag* e os *readers*. Com as distâncias e um algoritmo de trilateração pode-se obter a posição estimada dos Fuz Bld.

### 3. DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DO SINAL RECEBIDO E DISTÂNCIA

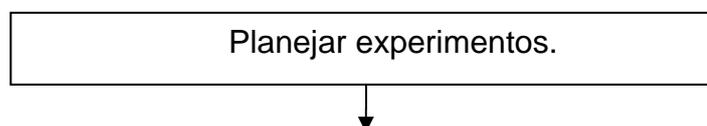
#### 3.1 INTRODUÇÃO

Para a obtenção dos dados de posicionamento através de leituras da intensidade do sinal recebido de um transmissor, no caso uma etiqueta RFID, é necessária a existência de pelo menos três receptores ou leitores do sinal RFID que indiquem a intensidade do sinal recebido ou RSSI. Busca-se obter dados de distância entre o emissor (*tag*) e o receptor (*reader*) com base nesta leitura. Este capítulo apresenta os resultados dos experimentos realizados e a análise destes.

Conforme apresentado no capítulo 1, a utilização das etiquetas RFID abrange os mais variados setores, desde o logístico até as áreas de segurança. Pode-se observar que não existe um tipo de RFID que possa ser utilizado em todas as situações, mas sim equipamentos específicos para determinadas necessidades e condições de utilização (GLOVER e BHATT, 2006). No caso particular deste trabalho, será considerada a utilização de RFIDs ativos para aquisição de dados de posicionamento de soldados distribuídos no campo de batalha.

Com a consolidação dos conhecimentos teóricos partiu-se para o planejamento e execução dos experimentos com etiquetas e leitores RFID. Para este fim, utilizaram-se as fases de pesquisa condensadas no diagrama de atividades apresentado na FIG. 4.

Assim, este capítulo tem por objetivo determinar o modelo matemático que relaciona a intensidade do sinal (RSSI), recebido pelos leitores RFID, com a distância entre os sensores e receptores RFID. Os equipamentos utilizados foram os mesmos utilizados no trabalho de DEL RIO (2010), adquiridos da Ananiah Electronics (ANANIAH, 2012).



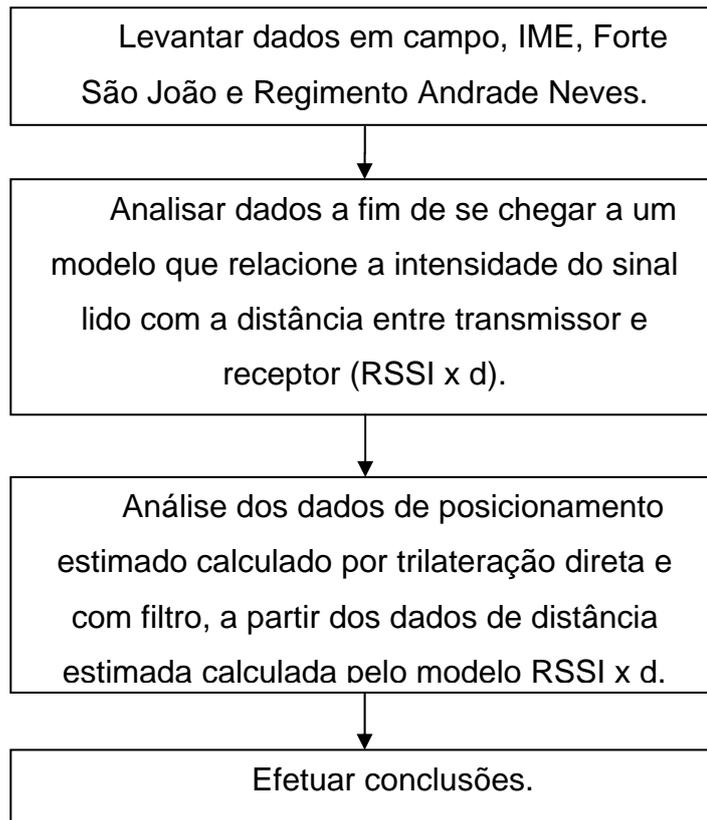


FIG. 4- Diagrama de atividades empregadas empregada.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DO LEITOR E TRANSMISSOR RFID UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

O sistema adquirido da *Ananiah Eletronics* funciona na faixa de frequência de 315 MHz, com um consumo de 6 mA em transmissão e 12  $\mu$ A quando inativo, sendo que o transmissor é alimentado com uma tensão de seis volts. O alcance nominal de trabalho é de 40 metros sendo que, em condições ideais, segundo o fabricante (ANANIAH, 2012), é possível operá-lo até 100 metros. Nos experimentos realizados para este trabalho obteve-se leituras em distâncias maiores do que 400 metros.

O intervalo de tempo entre transmissões é de 2,5 segundos, sendo que a transmissão ocorre em menos de 0,01 segundos. Desta forma, minimiza-se o congestionamento no envio de dados quando outros dispositivos estiverem usando a mesma frequência. Assim pode-se ter até cento e sessenta equipamentos

transmitindo num mesmo intervalo de tempo, numa mesma área, segundo o fabricante (ANANIAH, 2012).

As etiquetas RF40315T, utilizadas por DEL RIO (2010), trabalham apenas com tensão nominal de seis volts, originalmente com duas baterias do tipo moeda (CR2032) de três volts cada. Segundo o autor, este tipo de fonte de alimentação degrada o sinal transmitido após algum tempo de utilização, apesar de o fabricante informar que este equipamento poderia trabalhar até quatro mil horas com estas baterias.

O leitor RFID utilizado neste experimento é o RF9315R, operando na frequência de 315 MHz. Pode ser encontrado também na frequência de 415 MHz. Tem capacidade de identificar até oitenta etiquetas no intervalo de 2,5 segundos, transmitindo os dados através de uma interface RS232 nas seguintes condições: *9600 Baud, 8 bit words, 1 stop bit, 1 start bit, no parity.*

A leitura é composta pelos três caracteres associados à identificação da etiqueta e valor de RSSI. Por exemplo, Lsv108 corresponderia à etiqueta identificada por "Lsv" e RSSI de 1,08V.

A FIG. 6, fornecida pelo fabricante, foi utilizada para realizar a conversão dos dados coletados. A grandeza *RF level* é interpretada como sendo a potência do sinal recebido. É importante notar que, como os dados obtidos nos experimentos estavam na faixa de 0,65 volts a 1,11 volts, pôde-se considerar uma relação linear entre as grandezas RSSI e *RF Level*, com assinalado.

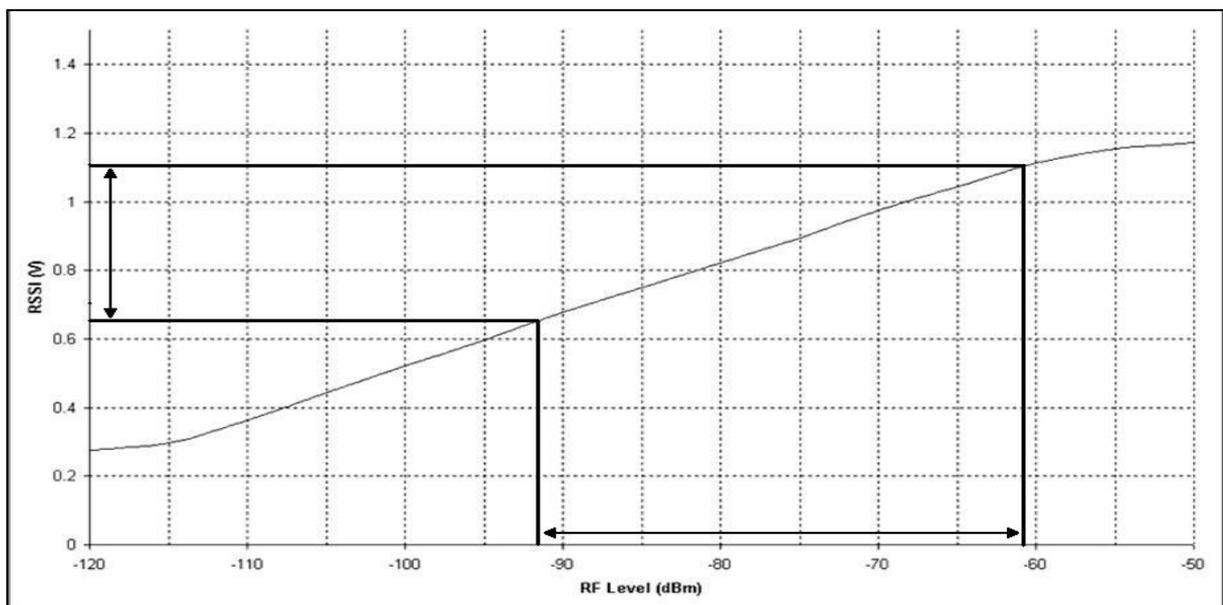


FIG. 5- Relação volts x dBm (dados do fabricante).

O vocabulário adotado para o transmissor RFID (*tag*) e para o leitor do sinal do transmissor RFID (*reader*) vem da literatura correspondente com o assunto em pauta e é citado também por (2009, pg 13).

Na FIG. 6 é mostrado o esquema de coleta de dados utilizado nos testes. O sinal transmitido pela etiqueta RFID (*tag*) é recebido pelo leitor RFID (*reader*), que por sua vez transmite estes dados para um computador através de uma porta RS-232.

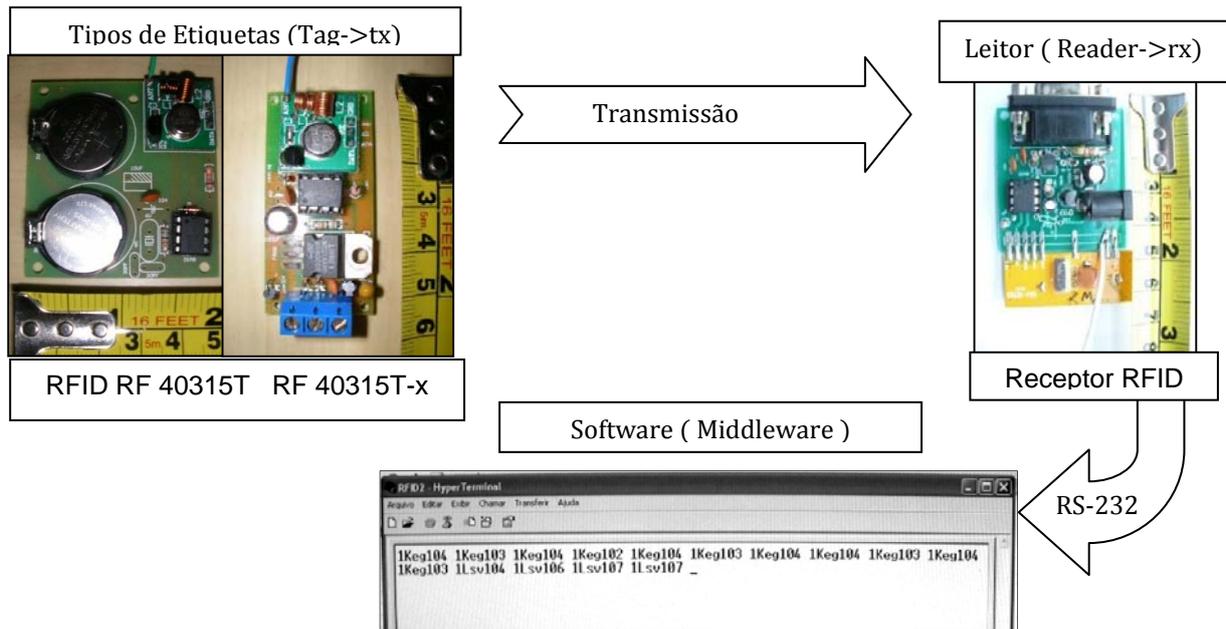


FIG. 6 - Esquema de coleta de dados.

### 3.3 MODELO MATEMÁTICO ADOTADO

O modelo teórico considerado para estabelecer a relação entre RSSI e distância é apresentado a seguir. A relação admitida é linear entre as grandezas RSSI (em dBm) e  $\delta = 10 \log_{10}(d)$  onde  $d$  é a distância em metros entre transmissor e receptor. Assim:

$$\beta = \alpha - n * \sigma, \quad \text{EQ. 1}$$

onde:

$$\beta = 10 \log_{10} P_r (mW), \text{ medida da potência (dBm);}$$

$$\delta = 10 \log_{10} (d), d \text{ (m);}$$

$n$  = coeficiente de perda de propagação;

$\alpha$  = coeficiente linear.

Devido às imprecisões dos equipamentos utilizados e uma possível inadequação do modelo, ainda que pequena, pois os dados necessitam de ajustes, as leituras obtidas nos ensaios não estabelecem rigorosamente uma relação linear entre  $\beta$  e  $\delta$ . Mostra-se necessário, portanto, estabelecer esta relação utilizando-se o método de Mínimos Quadrados (MMQ), que apresenta variância mínima. A formulação matemática utilizada é mostrada a seguir:

Seja  $H$  a matriz  $N \times 2$ , onde  $N$  é o número de pontos a serem ajustados:

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & -\delta_1 \\ 1 & -\delta_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & -\delta_N \end{pmatrix}, \quad \text{EQ. 2}$$

onde  $\delta_i = 10 \log_{10}(d_i)$  e  $d_i (i = 1, \dots, N)$  são os valores de distância considerados no experimento. Define-se o vetor  $\mathbf{b}$ , de dimensão  $N \times 1$ , como

$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_N \end{pmatrix}, \quad \text{EQ. 3}$$

onde  $\beta_i (i = 1, 2, \dots, N)$  são os valores de potência recebida para os  $N$  pontos (distâncias) considerados. Admitindo-se que a EQ. 1 é válida, é possível escrever a seguinte expressão que relaciona  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{H}$ ,  $\alpha$  e  $n$ :

$$\mathbf{b} = \mathbf{H} \begin{pmatrix} \alpha \\ n \end{pmatrix}. \quad \text{EQ. 4}$$

Dado que as medidas obtidas atendem apenas aproximadamente à EQ. 4, a solução para  $\alpha$  e  $n$  é obtida por mínimos quadrados (KAILATH, 2000):

$$\begin{pmatrix} \hat{\alpha} \\ \hat{n} \end{pmatrix} = (\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{b}. \quad \text{EQ. 5}$$

Portanto, segundo o modelo da EQ. 1 e dados os valores de  $\hat{\alpha}$  e  $\hat{n}$  calculados pela EQ. 5, a distância estimada correspondente a uma leitura de potência recebida ( $P_r$ , em dBm) é:

$$\hat{d} = 10^{\left(\frac{\hat{\alpha} - P_r}{10 \hat{n}}\right)}. \quad \text{EQ. 6}$$

Desta forma, o objetivo do trabalho apresentado neste capítulo consiste em determinar os valores de  $\hat{\alpha}$  e  $\hat{n}$  para que possam ser utilizados na estimação de distâncias a partir da leitura de potência do sinal recebido das etiquetas RFID.

### 3.4 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

Neste item serão apresentadas as descrições dos testes realizados, resultados obtidos e análise. Iniciou-se com experimentos no IME para familiarização com o equipamento, em seguida passou-se para o Forte São João (FSJ) com o intuito de se aproximar do contexto de emprego considerado neste trabalho, e, posteriormente, foram realizados ensaios no campo de pólo do Regimento Andrade Neves (RAN).

#### 3.4.1 PRIMEIRO EXPERIMENTO NO INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA (IME1)

Os experimentos realizados no IME tiveram o intuito de buscar uma maior familiarização com o equipamento para poder auxiliar o planejamento dos demais experimentos. Os dados coletados não servem de parâmetros para a determinação do modelo que relaciona RSSI com distância, uma vez que o cenário de teste é completamente diferente do cenário típico de um campo de batalha.

O primeiro experimento (IME1) foi realizado na laje do pavilhão do alojamento dos alunos do IME, no dia 22 de fevereiro de 2011, entre 15h00 e 16h30min, com tempo claro e seco e temperaturas na faixa dos 39°C. Foi utilizada uma *tag* (tx -

RFID RF40315T, Lsv), um *reader* (rx - RFID RF9315R), um notebook Sony VGN-SZ650N com sistema operacional Windows XP.

O *reader* foi conectado através de um adaptador serial/USB e utilizou-se o *software* “Hyper Terminal” do Windows como “Middleware”, que nada mais é do que um programa capaz de gerir a comunicação entre a placa do *reader* e a CPU, possibilitando a recepção e gravação dos dados enviados pela *tag*.

Executou-se medições a cada cinco metros (uma trena de fita de 50 metros foi utilizada para as marcações). Foram realizadas leituras em vinte posições, alcançando, portanto, uma distância de cem metros. Para cada posição, foram realizadas em média vinte leituras do sinal recebido.

O gráfico mostrado na FIG. 7 apresenta o resultado obtido para a *tag* Lsv no experimento denominado de IME1, onde pode-se observar grandes distorções em distâncias superiores a 60 metros ( $\delta = 17,8$ ) da *tag*. Os dados são apresentados com valores coletados de potência do sinal recebido ( $P_r$ ) em dBm, convertidos segundo a relação apresentada na FIG. 5, e os valores de distância ( $d$ ) do transmissor (*tag*) para o receptor (*reader*), no gráfico, são apresentados em escala logarítmica.

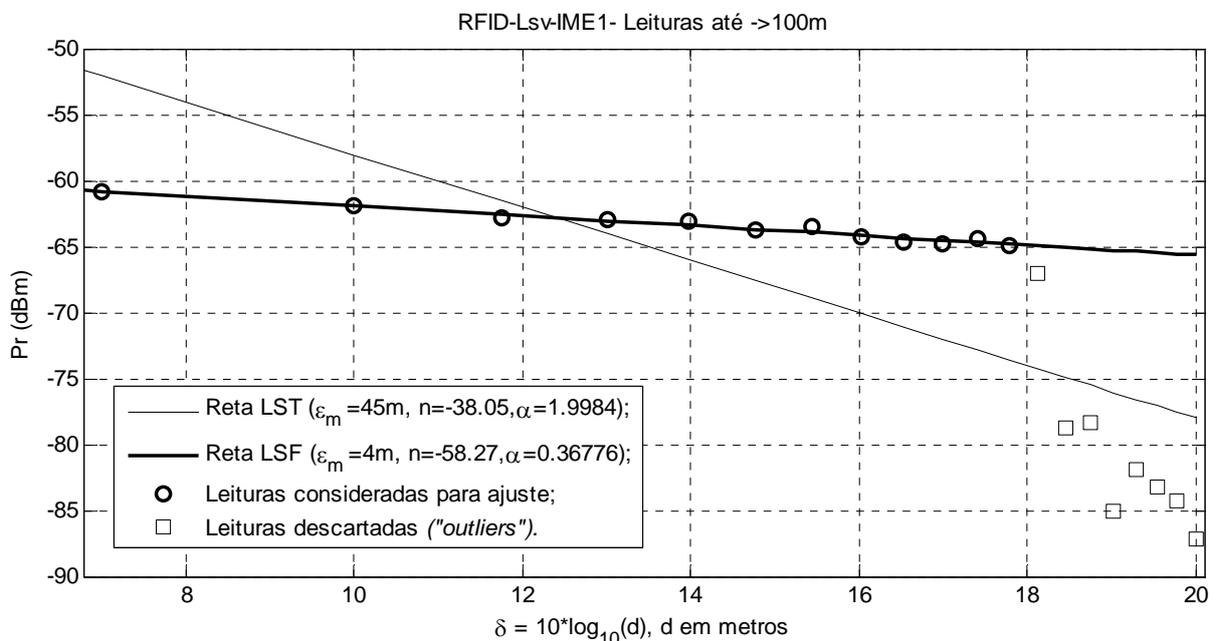


FIG. 7- Retas calculadas com os dados lidos em IME1 usando a *tag* Lsv.

Percebe-se a diferença entre a reta ajustada por MMQ (LST), onde são utilizados todos os pontos, e a reta (LSF) obtida sem a utilização dos pontos considerados incompatíveis com o modelo (aqui denominados de “outliers”).

A retirada de “outliers” foi feita pelo critério “visual”, onde se considerou o conjunto formado pelas amostras. Para este tipo de seleção utilizou-se o erro médio ( $\varepsilon_m$ ) de estimação de distâncias para avaliação dos resultados, dado pela equação

$$\varepsilon_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |d_i - \hat{d}_i|, \quad \text{EQ. 7}$$

onde,

$N$  - número de pontos a serem considerados;

$d_i$  - distâncias reais;

$\hat{d}_i$  - distâncias estimadas com base (EQ. 6).

Assim o  $\varepsilon_m$  passou de 45 metros para 4 metros (FIG. 7).

A TAB. 1 apresenta os resultados obtidos para  $\hat{\alpha}$  e  $\hat{\eta}$ , pelo método MMQ, que representam respectivamente os coeficientes angulares e lineares das retas obtidas. Pode-se verificar que houve uma grande variação destes resultados quando os “outliers” são descartados.

TAB. 1- Coeficientes  $\hat{\eta}$  e  $\hat{\alpha}$  para o experimento IME1.

| AMOSTRAS                    | $\hat{\eta}$ | $\hat{\alpha}$ |
|-----------------------------|--------------|----------------|
| todos os pontos;            | 1,9984       | -38,04         |
| com descarte de “outliers”. | 0,3678       | -58,27         |

### 3.4.2 SEGUNDO EXPERIMENTO NO INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA (IME2)

O segundo experimento (IME2) foi realizado no mesmo local no dia 24 de março de 2011, entre 15h00 e 17h00, com tempo claro e seco e temperatura em torno de 33°C. Além dos equipamentos mencionados anteriormente, foram realizadas leituras com mais uma *tag* denominada de Keg. Foram mantidos os mesmos intervalos entre

as posições ocupadas, mas foram coletadas mais de trinta leituras para cada posição. Da mesma forma, foram gerados gráficos com as retas ajustadas por MMQ correspondentes às médias das leituras.

Nas FIG. 8 e FIG. 9 são apresentados os resultados obtidos para IME2, respectivamente para as tags Lsv e Keg. Percebe-se que a retirada dos “outliers” provocou um deslocamento em relação à reta LST.

O erro médio ( $\epsilon_m$ ) (dado pela EQ. 7) para tag Lsv (FIG. 8) em IME2 é de 68 metros, quando considerados todos os pontos (LST), e passa para 11 metros, quando desconsiderados os “outliers”(LSF).

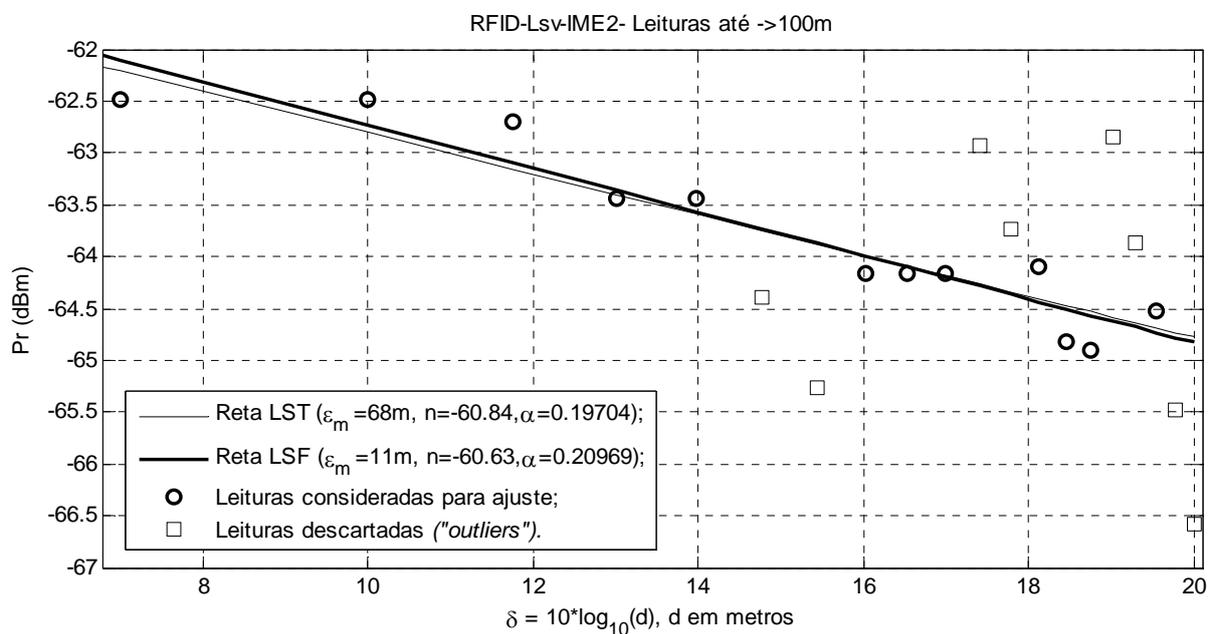


FIG. 8- Retas calculadas com os dados lidos em IME2 usando a tag Lsv.

Para a tag Keg (FIG. 9) o erro passa de 83 (LST) metros para 6 metros sem “outliers”(LSF). A escolha dos pontos foi realizada usando o critério “visual”. Nos próximos tópicos são abordados outros critérios para esta escolha.

A TAB. 2 apresenta os resultados referentes à  $n$  e  $\alpha$  considerando todas as leituras e sem os “outliers”.

Esta etapa preliminar serviu de ensaio para conhecer a operação do equipamento e realizar uma primeira análise dos dados obtidos, segundo o modelo considerado, utilizando o ajuste por MMQ.

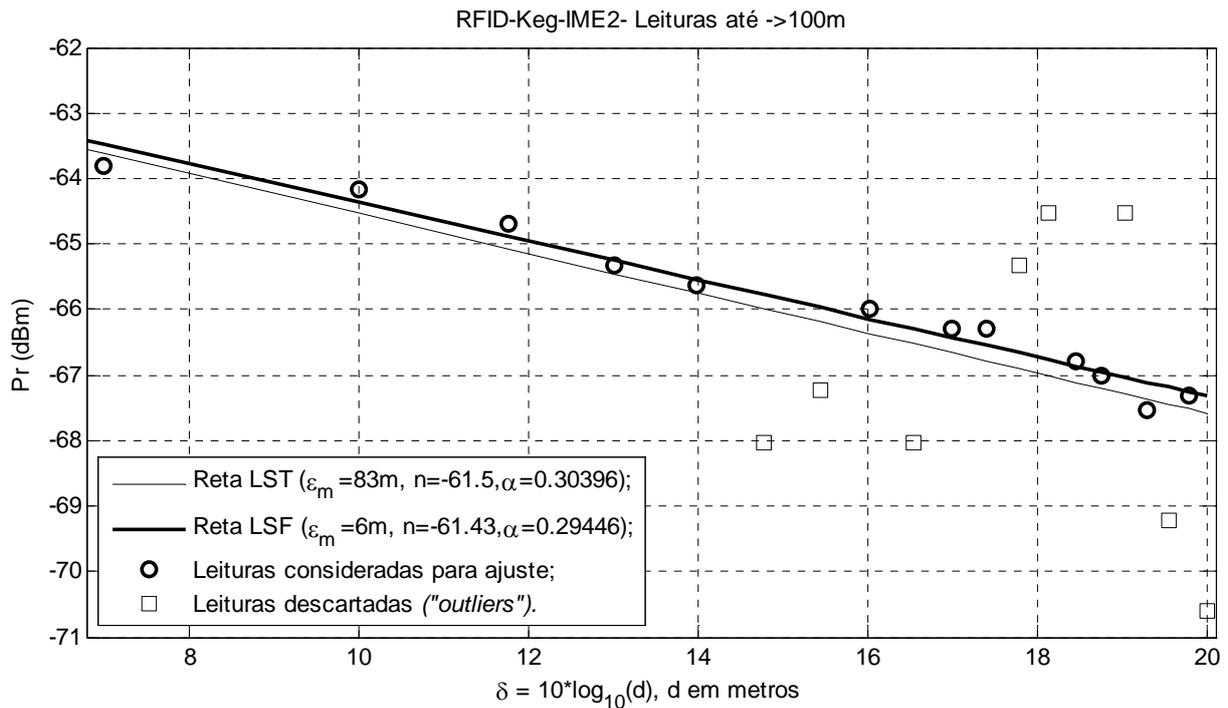


FIG. 9- Retas calculadas com os dados lidos em IME2 usando a *tag* Keg.

TAB. 2- Coeficientes  $\hat{n}$  e  $\hat{\alpha}$  para o experimento IME2.

| <i>tag</i> | AMOSTRAS                          | $\hat{n}$ | $\hat{\alpha}$ |
|------------|-----------------------------------|-----------|----------------|
| Lsv        | todos os pontos (LST);            | 0,1970    | -60,84         |
|            | com descarte de "outliers" (LSF). | 0,2097    | -60,63         |
| Keg        | todas os pontos (LST);            | 0,3040    | -61,50         |
|            | com descarte de "outliers" (LSF). | 0,2945    | -61,43         |

A seguir serão apresentados os resultados e as respectivas análises para cenários externos ('*outdoors*') que são, na verdade, os cenários considerados para este estudo com a utilização de *tags*. Cabe observar que, em função da pequena atenuação do sinal com a distância, mostrou-se suficiente a realização de medidas de 10 em 10 metros.

### 3.4.3 PRIMEIRO EXPERIMENTO NO FORTE SÃO JOÃO (FSJ1)

Os experimentos no Forte São João foram realizados com o intuito de testar o modelo dado pela EQ. 6 em ambientes externos.



FIG. 10– Imagens do experimento no Forte São João; em 10.1 as *tags* Keg e Lsv, montadas num tripé; em 10.2 o receptor ligado ao computador e em 10.3, em amarelo, o trajeto onde foram realizadas as leituras de RSSI das *tags*.

O primeiro experimento no Forte São João (FSJ1) foi realizado ao longo da rua existente entre a praia e o campo de futebol, às 05h30min do dia 01 de março de 2011, 5ª feira, com temperatura em torno de 30°C e tempo estável. Foram utilizadas as duas *tags* (Keg e Lsv) e um *reader*, além dos demais equipamentos já mencionados.

Realizou-se medições a cada dez metros. Em cada uma destas posições foram feitas um mínimo de trinta leituras do sinal transmitido pelas *tags* e lido pelo *reader*. O experimento tinha sido planejado para leituras de sinal até uma distância de 200 metros para cada *tag*, mas em função do sinal ter sido recebido em distâncias maiores (talvez devido às condições favoráveis de tempo) foram feitas leituras até 310 metros.

Em IME1 e IME2 a escolha dos “*outliers*” foi feita de maneira visual, retirando-se os pontos que estivessem mais distantes da reta ajustada pelo método MMQ.

Na FIG. 11, que mostra as medidas obtidas para a *tag* Lsv em FSJ1, os “*outliers*” em 90 ( $\delta = 19,5$ ) e 100 ( $\delta = 20$ ) metros correspondem aos “pontos” mais afastados em relação à reta calculada por MMQ.

Na FIG. 12, que apresenta o erro absoluto ( $|d_i - \hat{d}_i|$ ) no experimento FSJ1, os maiores valores de erro são observados de fato para 90 e 100 metros. Percebe-se

uma diminuição do erro absoluto da reta LST para a reta LSF, com exceção do valor de erro para distância de 70 metros.

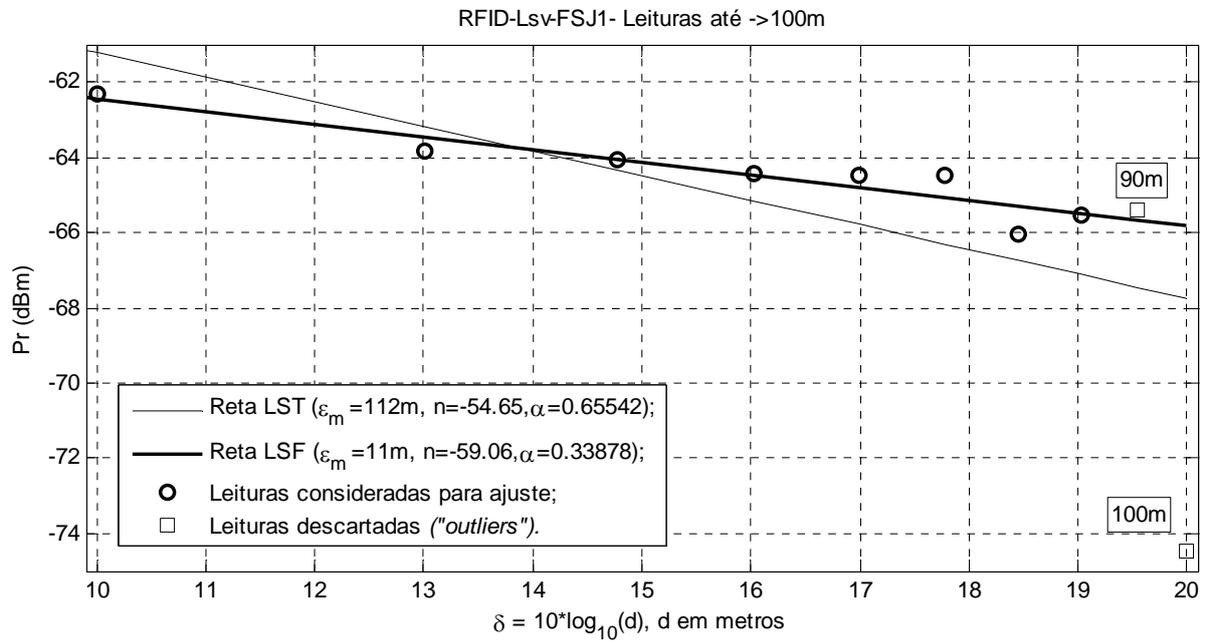


FIG. 11– Retas calculadas com os dados lidos em FSJ1 usando a tag Lsv.

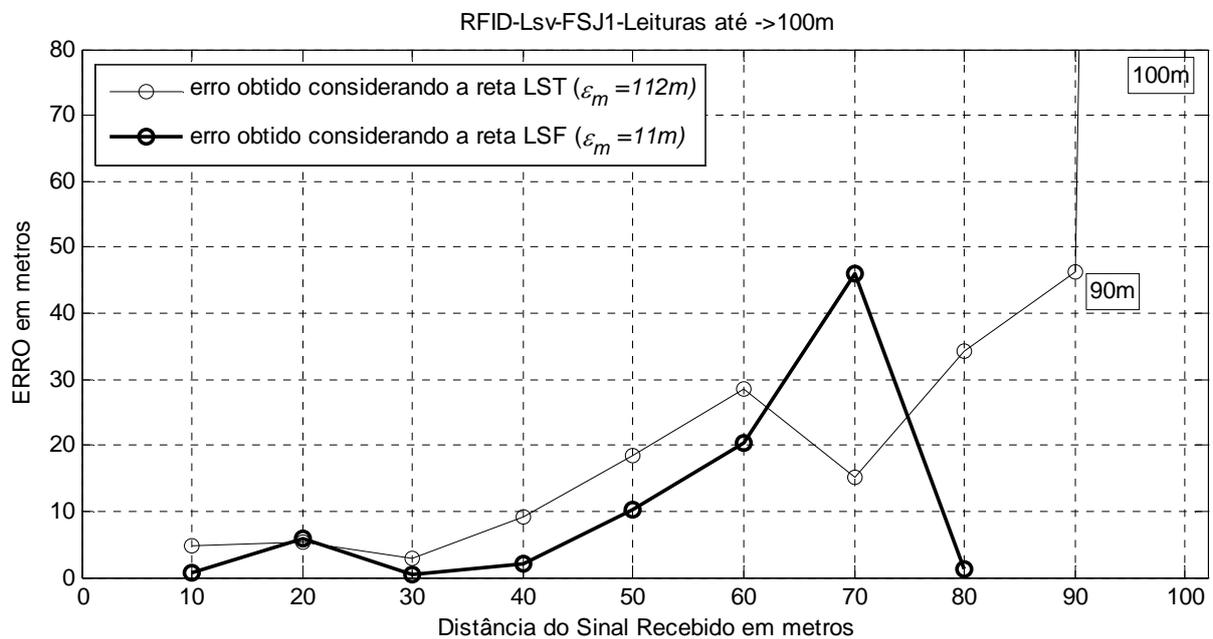


FIG. 12– Erro ( $|d_i - \hat{d}_i|$ ) dos dados lidos em FSJ1 usando a tag Lsv.

Em FSJ1 foi utilizado o gráfico dos erros (FIG. 12) para a determinação das leituras que deveriam ser desconsideradas. Foram escolhidos, portanto, os valores

de 90 e 100 metros como “*outliers*”, sendo que o valor de  $\varepsilon_m$  passou de 112 metros (LST) para 11 metros (LSF).

A apresentação dos dados nas FIG. 11 e FIG. 12 facilitou a escolha dos “*outliers*” pois, visualmente na FIG. 11 é possível escolher os pontos mais afastados da reta LST como sendo os “*outliers*”, posteriormente comprovados na FIG. 12 com os maiores valores de erro ( $|d_i - \hat{d}_i|$ ). Poderia ter sido escolhido o valor de 70 metros como “*outlier*”, porém, esta escolha não garante o menor erro médio ( $\varepsilon_m$ ) como será visto a seguir.

Neste ponto dos experimentos questiona-se o número de “*outliers*” a serem retirados, o critério de escolha destes “*outliers*” e a escolha da distância de trabalho, já que foram realizadas leituras em distâncias muito maiores que 100 metros (distância operacional do fabricante). O estudo da frequência de ocorrência dos “*outliers*” e o desvio padrão das medidas para uma mesma distância não apresentaram uma tendência que pudesse ser utilizada na resposta a estes questionamentos.

Com o objetivo de se encontrar os “*outliers*” para descarte que possibilitasse a obtenção do menor valor de erro médio ( $\varepsilon_m$ ), utilizou-se um algoritmo que testa todas as possibilidades, retornando os valores correspondentes de “*outliers*” com menor  $\varepsilon_m$ . Este procedimento foi implementado em MatLab sendo designado durante o texto de algoritmo 1.

Foram realizados testes com até oito seleções de “*outliers*” em distância máxima de 200 metros, em função de leituras realizadas até estas distâncias e verificar esta abordagem para distâncias maiores que as recomendadas pelo fabricante, se fosse o caso.

Percebeu-se que o  $\varepsilon_m$  diminui com o número de “*outliers*” retirados, como pode ser observado na FIG. 13, testado para os dados de (FSJ1, Lsv) até 200 metros, com a retirada de até oito “*outliers*”, escolhidos pelo algoritmo 1. Porém, a partir de dois ou três “*outliers*” a redução do  $\varepsilon_m$  com o número de “*outliers*” se mantém praticamente constante, assim deixa de ser vantajosa a retirada indefinida de “*outliers*”. Testou-se para 100 metros, que é a distância operacional (ANANIAH, 2012), com a retirada de três “*outliers*” afim de comparar os resultados.

Com os resultados obtidos neste teste, optou-se por adotar a distância máxima de 100 metros para as análises e a retirada de até três “outliers” determinada pela maior variação do  $\varepsilon_m$ .

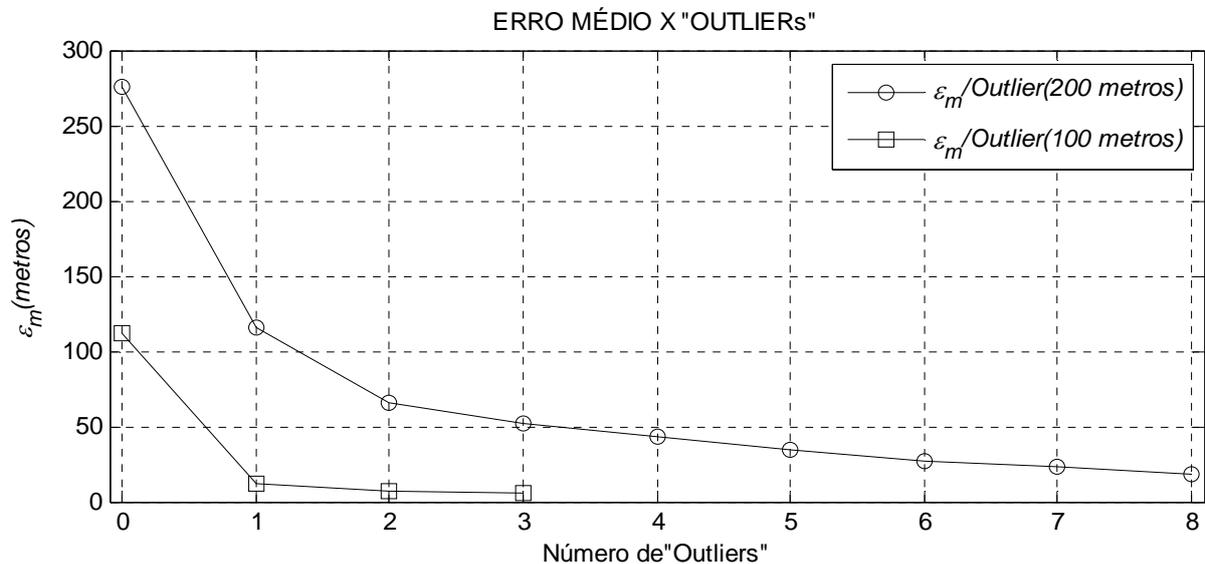


FIG. 13– Resultados do algoritmo 1 para RFID-Lsv-FSJ1-Leituras até 100 com três “outliers” e até 200 metros com oito “outliers”.

Os resultados calculados para leituras até 100 metros são apresentados na TAB. 3, para até três valores de “outliers”. Neste caso conclui-se por retirar dois “outliers”, por ser muito pequeno o ganho com a redução do erro de 7 para 5 metros com a retirada de mais “outliers”.

TAB. 3– Resultados obtidos para  $\varepsilon_m$  com o algoritmo 1.

| Nr de “outliers” | “outliers”     | Erro Médio ( $\varepsilon_m$ ) |
|------------------|----------------|--------------------------------|
| 0                | -              | 112 m                          |
| 1                | 100 m          | 12 m                           |
| 2                | 70 e 100 m     | 7 m                            |
| 3                | 60, 70 e 100 m | 5 m                            |

Assim, no ensaio FSJ1 com a tag Lsv, o melhor resultado foi obtido com o descarte das medidas em 70 e 100 metros, produzindo um  $\varepsilon_m$  de 7 metros.

Este método de escolha dos “outliers” foi aplicado às leituras obtidas em Forte São João 2 e Regimento Andrade Neves. Da FIG. 14 até a FIG. 20, que apresentam as retas MMQ obtidas para as tags nos experimentos FSJ1, FSJ2 e RAN, os valores de  $n$ ,  $\alpha$  e  $\varepsilon_m$  são obtidos considerando-se todas as trinta leituras para cada distância medidas até 100 metros e com e sem descarte de “outliers”.

A FIG. 14 apresenta as retas MMQ para a tag Lsv em FSJ1 acompanhadas dos respectivos valores de  $\epsilon_m$ ,  $n$ ,  $\alpha$  e "outliers". Percebe-se que a reta LSF se ajusta muito bem às amostras sem "outliers".

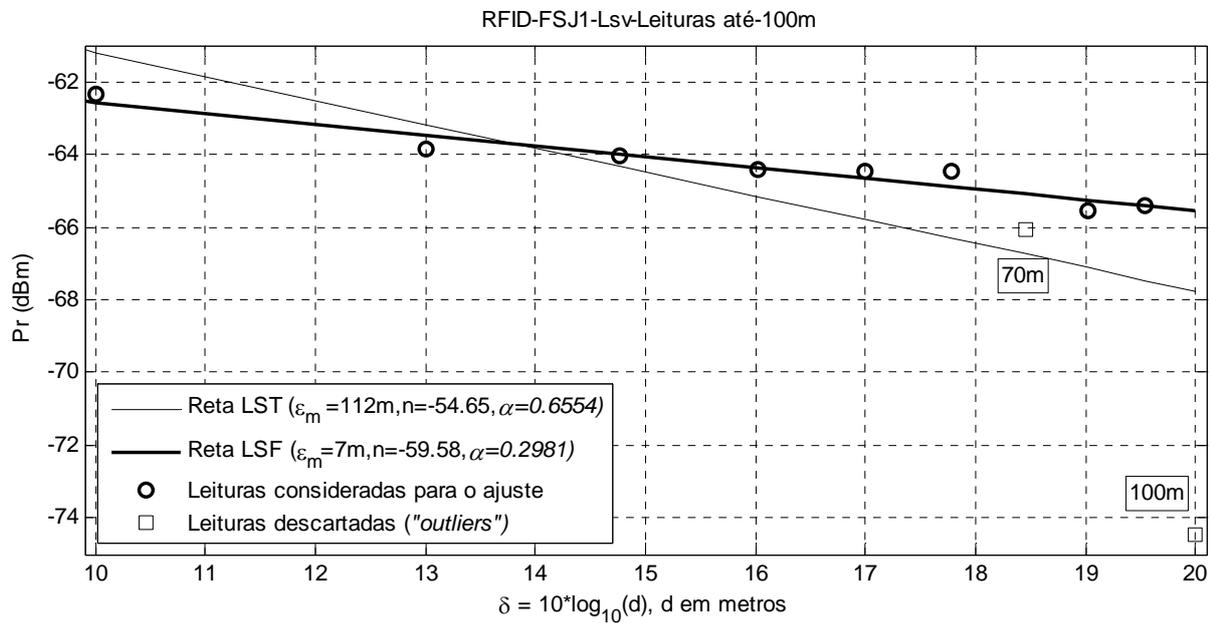


FIG. 14— Retas calculadas com os dados lidos em FSJ1 usando a tag Lsv.

A FIG. 15 apresenta as retas MMQ calculadas para os dados referentes à Keg em FSJ1, acompanhadas dos respectivos valores de  $\epsilon_m$ ,  $n$ ,  $\alpha$  e "outliers". Percebe-se que a reta LSF se ajusta melhor às amostras sem "outliers", mas praticamente não houve diferença, pois os "outliers" são praticamente equidistantes em relação à reta LST. A variação do  $\epsilon_m$  foi de 14 metros para 8 metros.

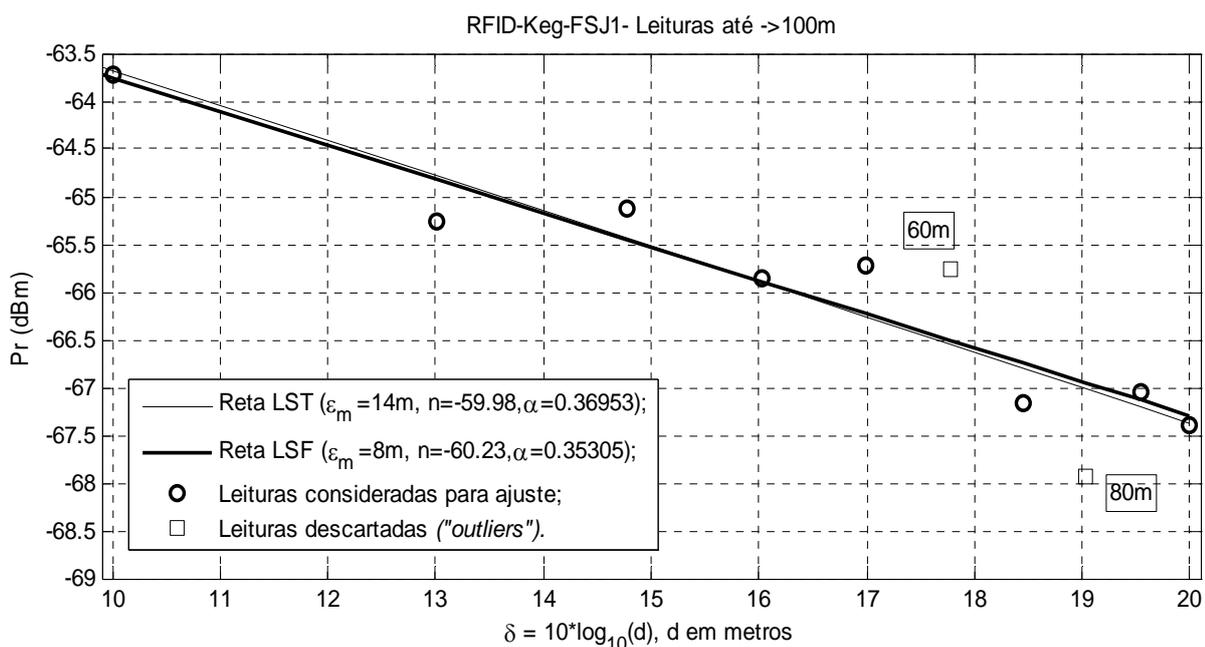


FIG. 15— Retas calculadas com os dados lidos em FSJ1 usando a tag Keg.

### 3.4.4 SEGUNDO EXPERIMENTO NO FORTE SÃO JOÃO (FSJ2)

No segundo experimento realizado no Forte São João (FSJ2), na data de 3 de março de 2011, entre 07h30min e 11h00min, com temperatura em torno de 30°C e tempo instável, com grande umidade e intercalado com garoa fina, foi utilizado o mesmo conjunto de equipamentos.

Foram realizadas medições a cada dez metros, no mesmo itinerário previamente demarcado para o ensaio FSJ1. O planejamento para esta etapa previa medições até 300 metros para cada *tag*. Com a finalização das medições para a segunda *tag* e tendo em vista as boas condições para leitura dos dados, foram ocupadas posições até 470 metros para *tag* (Keg).

Na FIG. 16 são apresentadas as quarenta e sete posições referentes às leituras do sinal RFID até 470 metros ( $\delta = 26,7$ ) para a *tag* Keg no experimento FSJ2. Como pode ser observado, o ajuste destes dados pelo MMQ mostrou que há uma grande dispersão em relação ao modelo. Devido a isto, optou-se por adotar a distância de até 200 metros ( $\delta = 23$ ) para o ajuste MMQ.

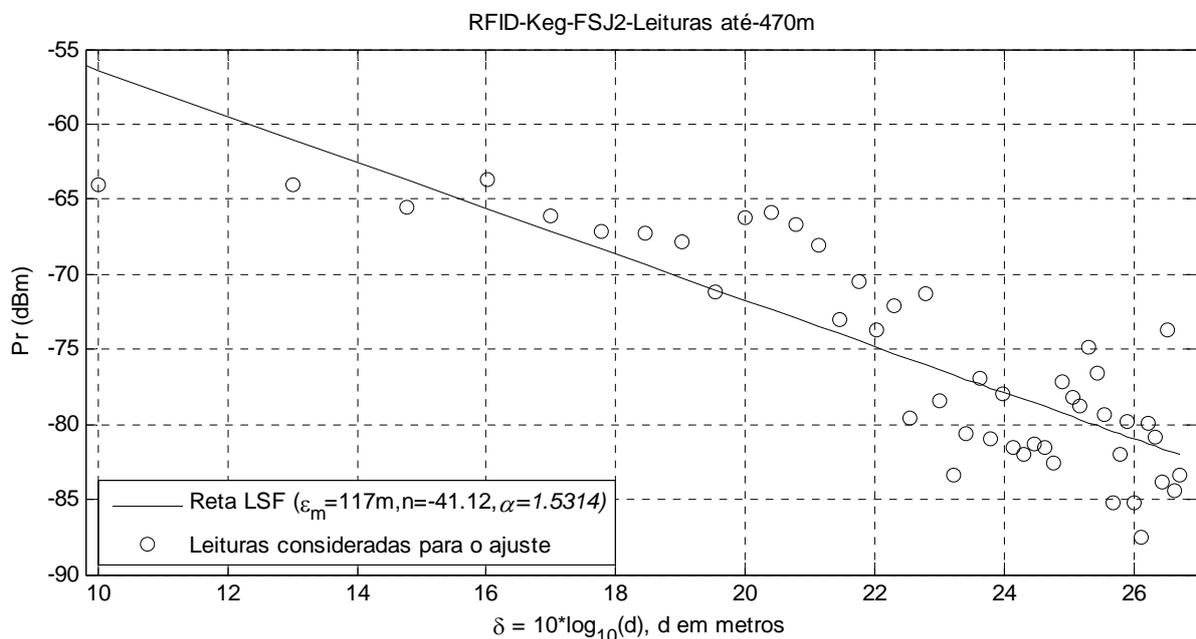


FIG. 16– Reta calculada com os dados lidos em FSJ2 usando a *tag* Keg.

Dentro da distância de 200 metros foram realizados alguns testes a fim de se encontrar os “*outliers*” que deveriam ser desconsiderados, mas os resultados encontrados não foram satisfatórios, assim concluiu-se que a distância de utilização

destas tags deve ser de 100 metros, sendo, portanto, a mesma distância recomendada pelo fabricante. Por esta razão, optou-se neste trabalho por determinar o modelo que relaciona  $\alpha$  e  $\beta$  (EQ. 1) para distâncias de até 100 metros.

A FIG. 17 apresenta as retas MMQ calculadas para os dados referentes à Lsv em FSJ2. Sem “outliers” o  $\epsilon_m$  é reduzido de 25 metros para 8 metros.

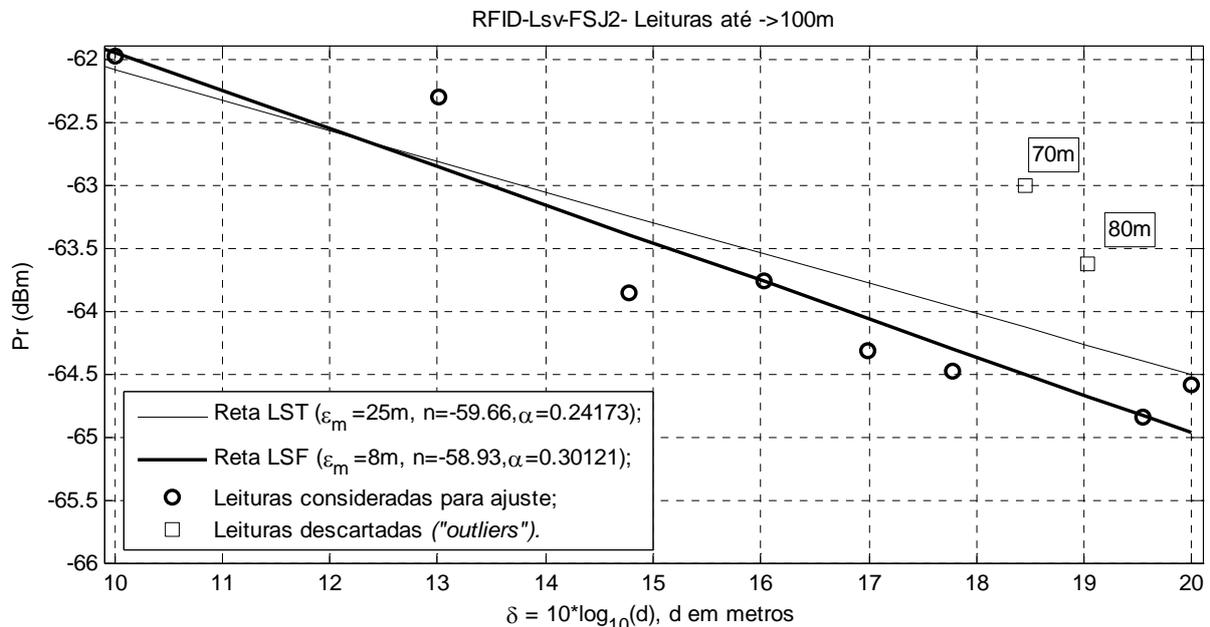


FIG. 17– Retas calculadas com os dados lidos em FSJ2 usando a tag Lsv.

A FIG. 18 apresenta as retas MMQ calculadas para os dados referentes à Keg em FSJ2. A diferença entre as retas é perceptível e há uma diminuição do  $\epsilon_m$  de 48 metros para 7 metros depois da retirada de três pontos “outliers”.

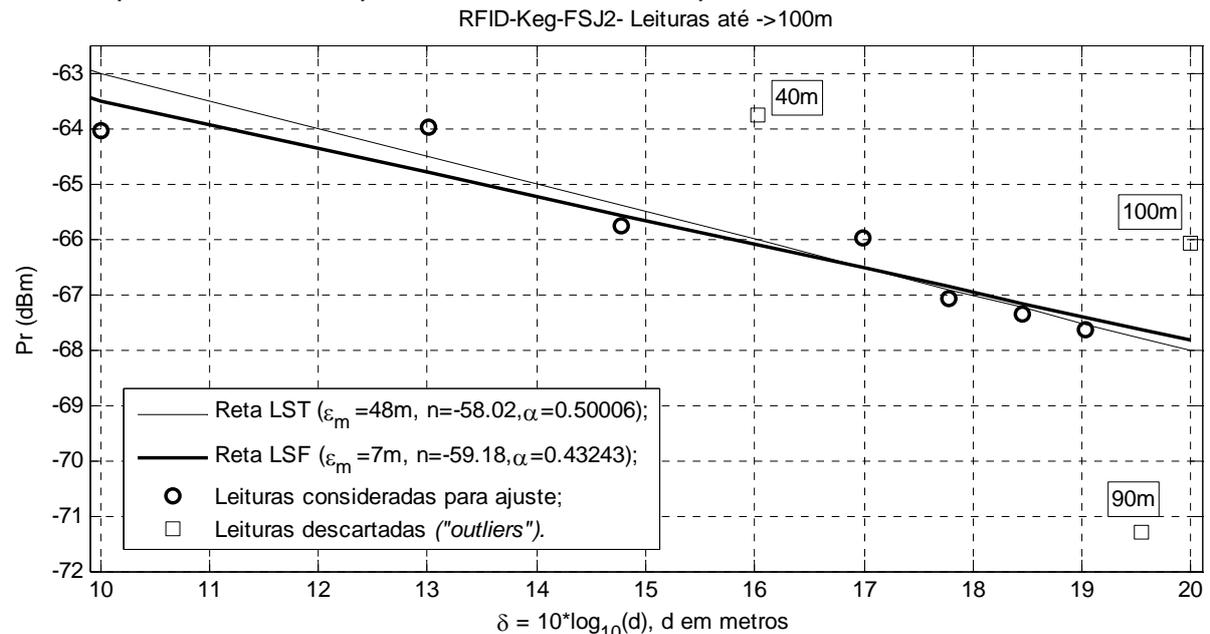


FIG. 18– Retas calculadas com os dados lidos em FSJ2 usando a tag Keg.

### 3.4.5 EXPERIMENTO NO REGIMENTO ANDRADE NEVES (RAN)

O experimento no campo de pólo do Regimento Andrade Neves (RAN) foi realizado no dia 15 de março de 2011, entre 08h00min e 11h00min, com temperatura em torno de 30°C, tempo estável e céu parcialmente nublado, utilizando-se o mesmo conjunto de materiais.

Foram realizadas medições a cada dez metros no campo de pólo, de dimensões 180 x 300 metros. O planejamento para este experimento previa medidas até 250 metros para cada *tag*.

A FIG. 19 apresenta as retas MMQ calculadas para os dados referentes à Lsv em RAN. A diferença entre as retas é significativa e o erro médio é reduzido de 44 metros para 9 metros depois da retirada de três “*outliers*”.

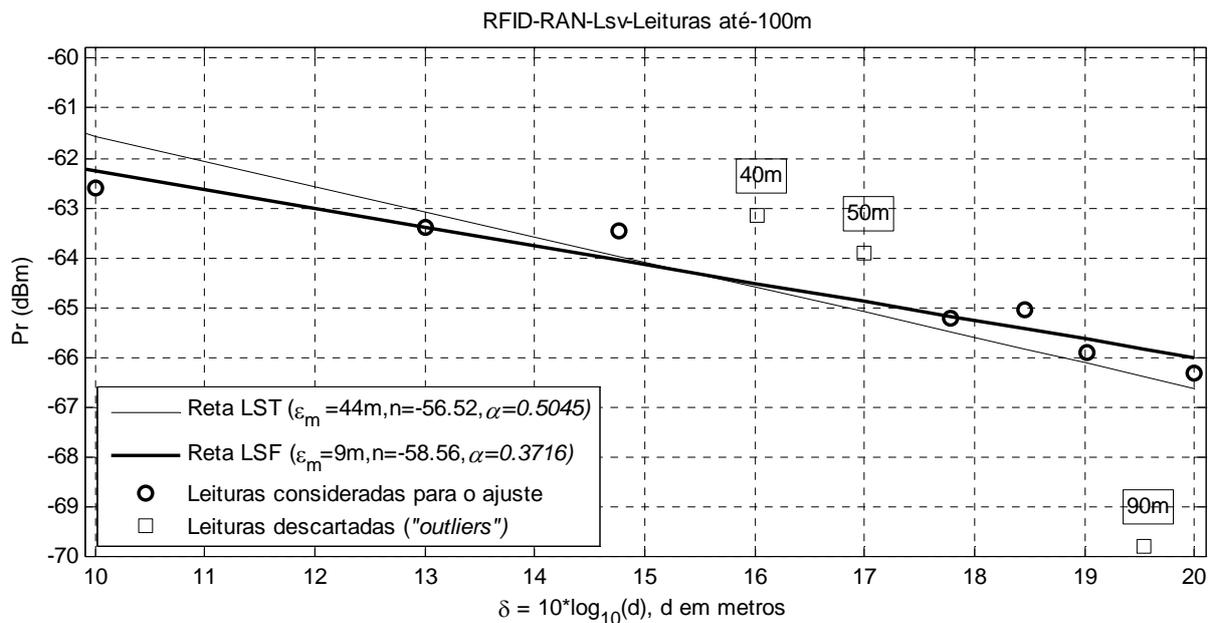


FIG. 19– Retas calculadas com os dados lidos em RAN usando a tag Lsv.

A FIG. 20 apresenta as retas MMQ calculadas para os dados referentes à Keg em RAN. Há uma redução do  $\epsilon_m$  de 38 metros para 10 metros depois que foram retirados três pontos “*outliers*”.

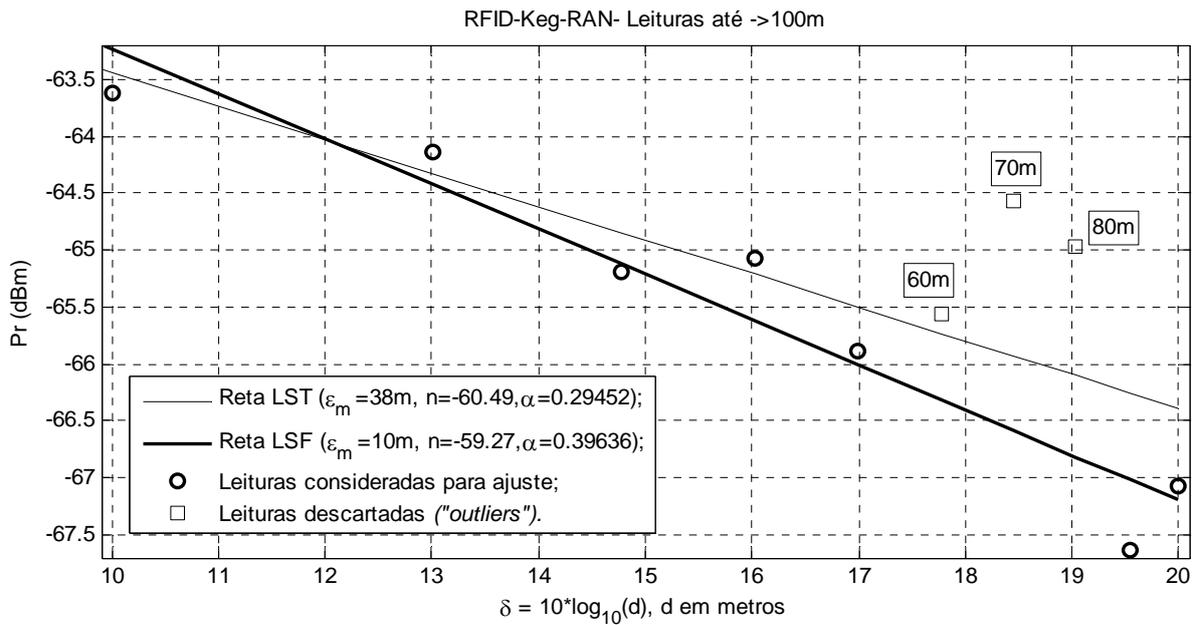


FIG. 20– Retas calculadas com os dados lidos em RAN usando a tag Keg.

### 3.4.6 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE ERRO MÉDIO

A TAB. 4 apresenta os valores de Erro Médio ( $\epsilon_m$ ) obtidos para as tags RFID Lsv e Keg, considerando os experimentos FSJ1, FSJ2 e RAN.

Na linha 1 encontram-se os valores de  $\epsilon_m$ , das duas tags para os três cenários, considerando-se o ajuste MMQ com todos os pontos determinados em cada experimento.

Na linha 2 os resultados de  $\epsilon_m$  foram obtidos tendo como referência a reta MMQ determinada sem os pontos definidos como "outliers", para cada um dos seis experimentos.

Na linha 3 os valores lidos para cada tag (Lsv ou Keg) nos três cenários foram agrupados numa mesma matriz, assim para cada distância medida somam-se noventa leituras, sendo trinta de cada cenário (FSJ1, FSJ2 e RAN). Para cada distância medida é calculada a média relativa a estas noventa leituras. Com estes valores é calculada a reta correspondente ( $\hat{\alpha}$  e  $\hat{n}$ ) pelo método MMQ, sendo designada como LS geral. Para cada tag (Lsv ou Keg) e para cada local (FSJ1, FSJ2 ou RAN) é calculado o  $\epsilon_m$ , EQ. 7, onde  $\hat{d}_i$ , EQ. 6, é calculado com  $\hat{\alpha}$  e  $\hat{n}$  da LS geral.

Na linha 4 os valores lidos para cada *tag* em cada um dos três cenários é calcula da mesma forma que na linha 3 sendo que a LS geral foi calculada com os valores lidos para as duas *tags* nos três cenários, assim para cada distância somam-se cento e oitenta leituras.

A redução do valor de erro médio ( $\varepsilon_m$ ) da linha 1 para a linha 2 é esperado, já que o modelo definido pelo ajuste MMQ sem os “*outliers*” é, obviamente, mais preciso. Para a linha 3, com a utilização de uma reta ajustada por MMQ considerando as medidas agrupadas dos três cenários, era de se esperar que o erro médio fosse maior do que o verificado quando o modelo (“reta MMQ”) é construído com base nas medidas do próprio cenário. De fato, os valores de  $\varepsilon_m$  na linha 3 são maiores do que os assinalados na linha 2. No entanto, como pode ser observada, a diferença não é significativa. Na linha 4 os valores de  $\varepsilon_m$  são maiores que os assinalados na linha 2 e na linha 3, o que também era esperado, supondo *tags* com características heterogêneas mostrando que seria necessário um processo de calibração para cada *tag* diante de sua aplicação prática.

TAB. 4- Comparação dos erros

| Modelo Utilizado |  | $\varepsilon_m$ (metros) |     |      |     |     |     |
|------------------|--|--------------------------|-----|------|-----|-----|-----|
|                  |  | FSJ1                     |     | FSJ2 |     | RAN |     |
|                  |  | Lsv                      | Keg | Lsv  | Keg | Lsv | Keg |
| 1                | Reta MMQ obtida com todos os pontos da amostra.  | 112                      | 14  | 25   | 48  | 44  | 38  |
| 2                | Reta MMQ obtida sem “ <i>outliers</i> ”  | 11                       | 8   | 8    | 7   | 9   | 10  |
| 3                | “Reta MMQ” obtida do agrupamento das medidas obtidas nos três cenários, sem “ <i>outliers</i> ”                          | 10                       | 8   | 19   | 19  | 9   | 12  |
| 4                | “Reta MMQ” obtida do agrupamento das medidas obtidas nos três cenários, para as duas <i>tags</i> sem “ <i>outliers</i> ” | 18                       | 24  | 28   | 38  | 22  | 16  |

A TAB. 5 apresenta os valores de  $n$ ,  $\alpha$ , além dos (“*outliers*”) definidos para as *tags* Lsv e Keg, considerando os experimentos FSJ1, FSJ2 e RAN. Estes valores de  $n$  e  $\alpha$  são os coeficientes angular e linear, respectivamente, das retas MMQ obtidas conforme descrição feita para a TAB. 4.

TAB. 5- Valores de  $\hat{n}$  e  $\hat{\alpha}$  "outliers"

|   |                | FSJ1      |            | FSJ2    |           | RAN      |          |
|---|----------------|-----------|------------|---------|-----------|----------|----------|
|   |                | Lsv       | Keg        | Lsv     | Keg       | Lsv      | Keg      |
| 1 | $\hat{\alpha}$ | -54,65    | -59,98     | -59,67  | -58,02    | -56,52   | -60,49   |
|   | $\hat{n}$      | 0,6554    | 0,3695     | 0,2417  | 0,5001    | 0,5045   | 0,2945   |
| 2 | $\hat{\alpha}$ | -59,58    | -60,23     | -58,94  | -59,18    | -58,56   | -60,08   |
|   | $\hat{n}$      | 0,2981    | 0,3530     | 0,3012  | 0,4324    | 0,3716   | 0,3315   |
| 3 | $\hat{\alpha}$ | (*)-56,94 | (**)-59,50 | Idem(*) | Idem(**)  | Idem(*)  | Idem(**) |
|   | $\hat{n}$      | (*)0,4672 | (**)0,3880 |         |           |          |          |
| 4 | $\hat{\alpha}$ | -58,22    |            |         |           |          |          |
|   | $\hat{n}$      | 0,4276    |            |         |           |          |          |
| 5 | "outliers"     | 70,100    | 60,80      | 70,80   | 40,90,100 | 40,50,90 | 70,80,90 |

### 3.5 CONCLUSÃO

Neste capítulo foram apresentados e analisados os dados de intensidade do sinal recebido (RSSI) de duas *tags* (nomeadas como Keg e Lsv), sendo dois ensaios no Forte São João e um ensaio no Regimento Andrade Neves.

Com a análise dos dados obtidos dos experimentos pôde-se observar o seguinte:

- Os dados obtidos apresentaram aderência com o modelo aplicado, de maneira geral, dentro das condições estabelecidas nos experimentos;

- O valor absoluto do coeficiente angular ( $n$ ) encontrado para todos os experimentos, com a utilização do método MMQ, tem valores entre 0,2417 e 0,6554, assim reduzidas variações dos valores lidos ( $Pr$ ) (EQ. 6) tem como resultado elevados valores de erro ( $|d_i - \hat{d}_i|$ ). Estes valores são piores para medidas de  $Pr$  mais distantes da origem, já que as medidas de distância ( $\delta$ ) são logarítmicas, segundo o modelo aplicado;

- O parâmetro  $\varepsilon_m$  para o ajuste MMQ com todos os pontos determinados em cada experimento e desconsiderando os "outliers", teve como resultado 8 metros, conforme visto na TAB. 4. O agrupamento das medidas das *tags* demonstrou que o uso de uma reta calculada por MMQ para este tipo de abordagem produziu valores

médios de erro na faixa de 8 a 19 metros (linha 3 da TAB. 4) e 16 a 38 metros (linha 4 da TAB. 4). Desta forma, a abordagem mais recomendada para o cálculo do posicionamento, correspondente ao método da linha 2 da TAB. 4, seria utilizar os dados locais dos experimentos para o cálculo da reta resultante da aplicação do método dos mínimos quadrados, o que dificulta a aplicação na prática.

- Os dados levantados são referentes a cada par, composto por um *reader* e uma *tag*, pois se verificou que a reta calculada por MMQ é exclusiva para cada um destes pares combinados. Sendo assim, para o equipamento utilizado no teste não foi possível levantar uma reta MMQ que atendesse a todos as situações.

## 4. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

### 4.1 INTRODUÇÃO

No capítulo 3 foram analisados os dados de RSSI das *tags*, possibilitando determinar o modelo de RSSI x distância para os equipamentos utilizados. No capítulo 2 foram apresentadas as situações de emprego da FT, principalmente no que se refere às:

- posições relativas entre os veículos blindados e a tropa a pé;
- velocidades de deslocamento dos veículos blindados e da tropa a pé.

Neste capítulo serão apresentados os resultados da precisão do posicionamento do soldado fuzileiro ( $P_{sd}$ ) em relação aos veículos blindados ( $CC$ ), considerando a utilização de *readers* embarcados nos veículos blindados. Serão utilizados dois métodos para o cálculo da estimativa da posição (HIGHTTOWER e BORRIELLO, 2001):

- trilateração por mínimos quadrados (MMQ);
- trilateração por mínimos quadrados ponderados (MMQP).

Será investigada a melhor forma de se obter este posicionamento com máxima precisão em função do número de leitores e da distância estimada.

#### 4.1.1 SOLUÇÃO PELO MÉTODO DE MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ)

A trilateração é um método que determina a posição da *tag* dado que pelo menos três *readers* tenham feito a leitura RSSI para um mesmo instante. Com a estimação das distâncias ( $\hat{d}$ ) (calculada em função do modelo RSSI x d para os *readers*  $P_1, P_2, \dots, P_N$  ( $N \geq 3$ ), cujas coordenadas (conhecidas) são dadas por  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)$ , a posição da *tag*  $(x, y)$  pode ser determinada pelo conjunto de equações (BHATIA et al, 2009):

$$\begin{aligned}
(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 &= d_1^2 \\
(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 &= d_2^2 \\
\vdots &\quad \quad \quad \vdots \\
(x - x_N)^2 + (y - y_N)^2 &= d_N^2
\end{aligned}
\tag{EQ. 8}$$

Porém a estimação de distância ( $\hat{d}$ ) contém erros que obviamente impactam no cálculo da posição da *tag*. Para a estimativa da sua posição  $(x, y)$  pode-se, a princípio, utilizar o método de mínimos quadrados. Este método é frequentemente utilizado para estimação de posição com base em valores de distância contaminados com erros (CHANG e CHUNG, 2007).

O método de mínimos quadrados para o problema em questão pode ser formulado da seguinte maneira (SAYED et al, 2005):

$$\mathbf{A} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \cong \mathbf{b},
\tag{EQ. 9}$$

onde

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_{N-1} - x_N & y_{N-1} - y_N \end{pmatrix}
\tag{EQ. 10}$$

é uma matriz de dimensão  $(N - 1) \times 2$ , e

$$\mathbf{b} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \hat{d}_2^2 - \hat{d}_1^2 + x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 \\ \vdots \\ \hat{d}_N^2 - \hat{d}_{N-1}^2 + x_{N-1}^2 - x_N^2 + y_{N-1}^2 - y_N^2 \end{pmatrix}
\tag{EQ. 11}$$

é um vetor  $(N - 1) \times 1$ , sendo  $\hat{d}_i$  a distância estimada entre a *tag* e o *i*-ésimo reader.

A solução por mínimos quadrados resultante da EQ. 9 é dada por (SAYED et al, 2005)

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b},
\tag{EQ. 12}$$

sendo  $\mathbf{A}^T$  a transposta da matriz  $\mathbf{A}$ .

#### 4.1.2 SOLUÇÃO PELO MÉTODO DE MÍNIMOS QUADRADOS PONDERADOS (MMQP)

O algoritmo denominado de Mínimo Quadrado Ponderado (KAILATH, 2000) naturalmente reduz o erro de estimação atribuindo pesos diferenciados às medidas de distância com diferentes graus de precisão. No entanto, para sua aplicação, é necessário realizar a modelagem estatística dos erros, isto é, a modelagem da variável

$$e = d - \hat{d}(RSSI), \quad \text{EQ. 13}$$

onde  $d$  é a distância verdadeira e  $\hat{d}(RSSI)$  é a distância estimada, função da leitura de RSSI fornecida pelo *reader* e do modelo adotado para a relação RSSI  $\times$   $d$  (EQ.6).

Para determinar um modelo para  $e$ , reescreve-se a EQ. 1 do capítulo 3, agora incluindo o erro  $e_\beta$ :

$$\beta = \hat{\alpha} - \hat{n} \times \delta + e_\beta, \quad \text{EQ. 14}$$

onde  $[\hat{\alpha}, \hat{n}]$  são os parâmetros da reta que definem a relação RSSI  $\times$   $d$  para uma dada etiqueta,  $\beta$  é a leitura obtida (em dBm) de RSSI e  $\delta = 10 \log_{10}(d)$ , sendo  $d$  a distância verdadeira.

Rearrmando a EQ. 14 escreve-se

$$\log_{10} d = \frac{\hat{\alpha} - 10 \log_{10} RSSI}{10 \hat{n}} + \frac{e_\beta}{10 \hat{n}}$$

$$d = 10^{\left(\frac{\hat{\alpha} - RSSI(dBm)}{10 \hat{n}}\right)} \times 10^{\frac{e_\beta}{10 \hat{n}}}$$

ou

$$d = \hat{d} \times 10^{\frac{e_\beta}{10 \hat{n}}}. \quad \text{EQ. 15}$$

De forma equivalente:

$$(d)^2 = (\hat{d})^2 \times 10^{2\left(\frac{e_\beta}{10 \hat{n}}\right)}. \quad \text{EQ. 16}$$

Expandindo-se a equação anterior por Série de Taylor, chega-se a

$$(d)^2 = (\hat{d})^2 \times \left[ 1 + \frac{e_\beta}{5\hat{n}} \ln 10 + \frac{(\frac{e_\beta}{5\hat{n}} \ln 10)^2}{2!} + \dots \right], \quad \text{EQ. 17}$$

e admitindo que  $\frac{e_\beta}{2! \times 5\hat{n}} \ln 10 \ll 1$ , pode-se escrever a seguinte aproximação

$$(d)^2 \approx (\hat{d})^2 + (\hat{d})^2 \frac{e_\beta}{5\hat{n}} \ln 10. \quad \text{EQ. 18}$$

Substituindo a EQ. 18 na EQ. 9 resulta portanto

$$\mathbf{A} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \mathbf{D} + \mathbf{R}, \quad \text{EQ. 19}$$

$$\text{onde } \mathbf{D} = \begin{pmatrix} d_2^2 - d_1^2 - (x_2^2 - x_1^2) - (y_2^2 - y_1^2) \\ d_3^2 - d_2^2 - (x_3^2 - x_2^2) - (y_3^2 - y_2^2) \\ \vdots \\ d_M^2 - d_{M-1}^2 - (x_M^2 - x_{M-1}^2) - (y_M^2 - y_{M-1}^2) \end{pmatrix} \mathbf{e} \quad \text{EQ. 20}$$

$$\mathbf{R} = \frac{\ln(10)}{5n} \begin{pmatrix} e_2 \hat{d}_2^2 - e_1 \hat{d}_1^2 \\ e_3 \hat{d}_3^2 - e_2 \hat{d}_2^2 \\ \vdots \\ e_N \hat{d}_N^2 - e_{N-1} \hat{d}_{N-1}^2 \end{pmatrix}. \quad \text{EQ. 21}$$

Na EQ. 21 o termo  $e_i (i = 1, \dots, N)$  representa o erro  $e_\beta$  da EQ. 14 considerando a leitura do  $i$  – ésimo reader.

Aplicando-se agora o teorema de Gauss-Markov à EQ.19 (KAILATH, 2000), chega-se ao estimador linear ótimo (de menor variância).

$$\begin{pmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{pmatrix} = (\mathbf{A}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{D} \quad \text{EQ. 22}$$

onde  $\mathbf{C} = E[(\mathbf{R} - E(\mathbf{R}))(\mathbf{R} - E(\mathbf{R}))^T]$ , sendo  $E[\mathbf{R}]$  o operador de valor esperado.

Admitindo-se que  $E[e_i] = 0; \forall i$ , e que  $E[e_i e_j] = \begin{cases} \sigma^2, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$ , chega-se à matriz covariância de  $\mathbf{R}$ :

$$\mathbf{C} = K \begin{pmatrix} \hat{d}_2^4 + \hat{d}_1^4 & \hat{d}_2^4 & 0 & \dots & 0 \\ \hat{d}_2^4 & \hat{d}_3^4 + \hat{d}_2^4 & \hat{d}_3^4 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{d}_3^4 & \ddots & \dots & 0 \\ \vdots & 0 & \vdots & \ddots & \hat{d}_N^4 \\ 0 & 0 & 0 & \hat{d}_N^4 & \hat{d}_N^4 + \hat{d}_{N-1}^4 \end{pmatrix}; \quad \text{EQ. 23}$$

onde  $K = \left(\frac{\sigma}{5n} \ln 10\right)^2$ . Cabe observar que a constante  $K$  é irrelevante para o cálculo do vetor  $(\hat{x}, \hat{y})$  na EQ. 22.

## 4.2 SIMULAÇÃO

### 4.2.1 CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO

Na obtenção dos resultados de posicionamento foram utilizados os algoritmos de trilateração por mínimos quadrados (MMQ) e mínimos quadrados ponderados (MMQP).

Para obtenção do posicionamento do soldado deve-se, portanto, dotá-lo de uma *tag*, sendo necessário também conhecer a posição dos veículos blindados, que são equipados com dispositivo de posicionamento por GNSS. Para esta simulação, considera-se que não há erro na obtenção das coordenadas dos veículos.

Na simulação, a geração dos valores de  $\hat{d}_i (i = 1, \dots, N)$  é realizada utilizando-se o modelo da EQ. 16, onde admite-se que  $e_\beta$  é uma variável aleatória gaussiana de parâmetro  $(0, \sigma^2)$ . Cabe observar que os valores de  $\sigma^2$  utilizados na simulação foram obtidos a partir dos dados obtidos no ensaio RAN (item 3.4.5) para a *tag* LSV, isto é, foi feita a média empírica

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\beta_i^l - \hat{\beta}_i)^2, \quad \text{EQ. 24}$$

onde  $\beta_i^l$  é o valor de RSSI (em dBm) efetivamente lido para a  $i$ -ésima distância  $d_i$ , e  $\hat{\beta}_i = \hat{\alpha} - \hat{n} \times 10 \log_{10} d_i$ .

Nas simulações realizadas neste trabalho foi levada em consideração uma FT constituída de quatro Carros de Combate (CC) e quatro Grupos de Combate, cada um contendo uma viatura blindada para transporte de tropas, tipo M113, URUTU ou Guarani (LAAD, 2011). Cada veículo blindado mantém uma distância de 50 m em linha (BRASIL(6). , 2006), sendo a primeira linha composta de CC e a segunda de M113 (VB), totalizando oito viaturas blindadas. Neste trabalho serão designados por CC todos os veículos blindados, independentemente de serem carros de combate ou viaturas blindadas de transporte de tropas.

A FIG. 21 apresenta a posição dos veículos blindados em  $CC_{(x,y)}$  e a posição dos soldados fuzileiros  $Psd_{(x,y)}$  consideradas para esta simulação.

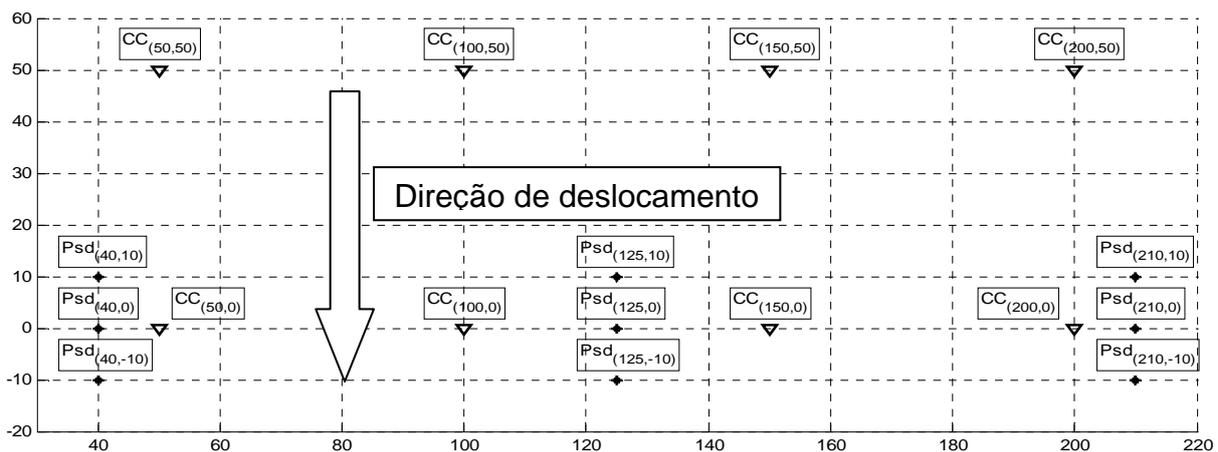


FIG. 21– Posições relativas dos veículos blindados ( $CC_{(x,y)}$ ) dotados de *readers* e dos soldados fuzileiros desembarcados ( $Psd_{(x,y)}$ ) portadores de *tags* ativas.

Ou seja, as simulações são realizadas considerando os seguintes eixos para posicionamento do soldado:

- o eixo 1 ( $Psd_{(40,10)}$ ,  $Psd_{(125,10)}$ ,  $Psd_{(210,10)}$ ), que corresponde às posições mais comuns do soldado fuzileiro desembarcado deslocando-se ao lado dos veículos blindados, no interior do dispositivo FT;

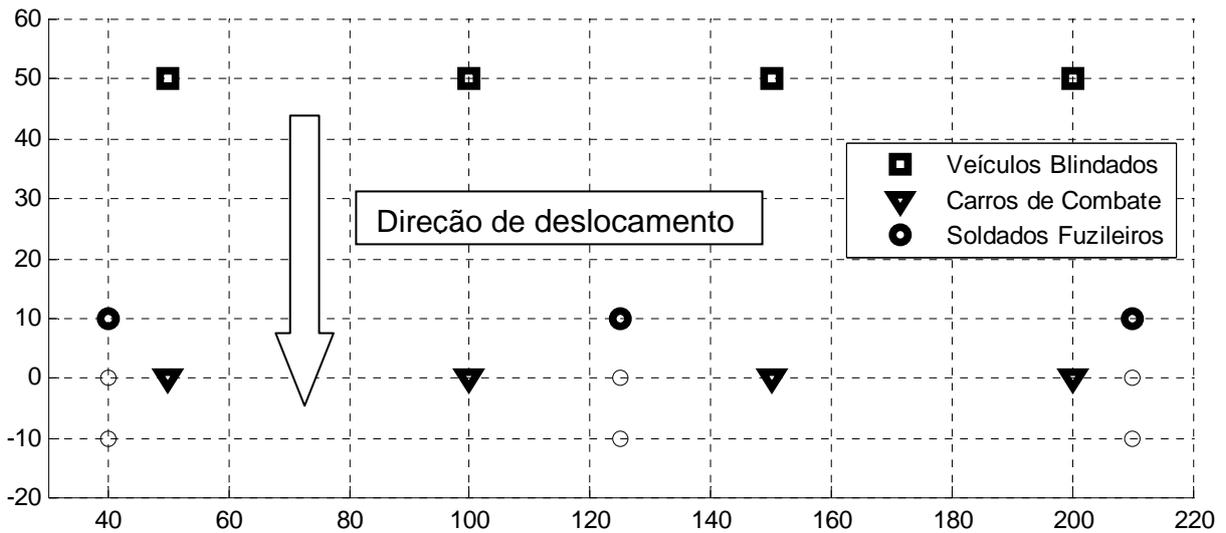


FIG. 22– Posições relativas dos soldados fuzileiros no interior do dispositivo FT, eixo 1.

○ eixo 2 ( $Psd_{(40,0)}$ ,  $Psd_{(125,0)}$ ,  $Psd_{(210,0)}$ ), que representa a posição onde os soldados fuzileiros se encontram entre os veículos blindados, sendo pouco utilizada com base na doutrina e na tática;

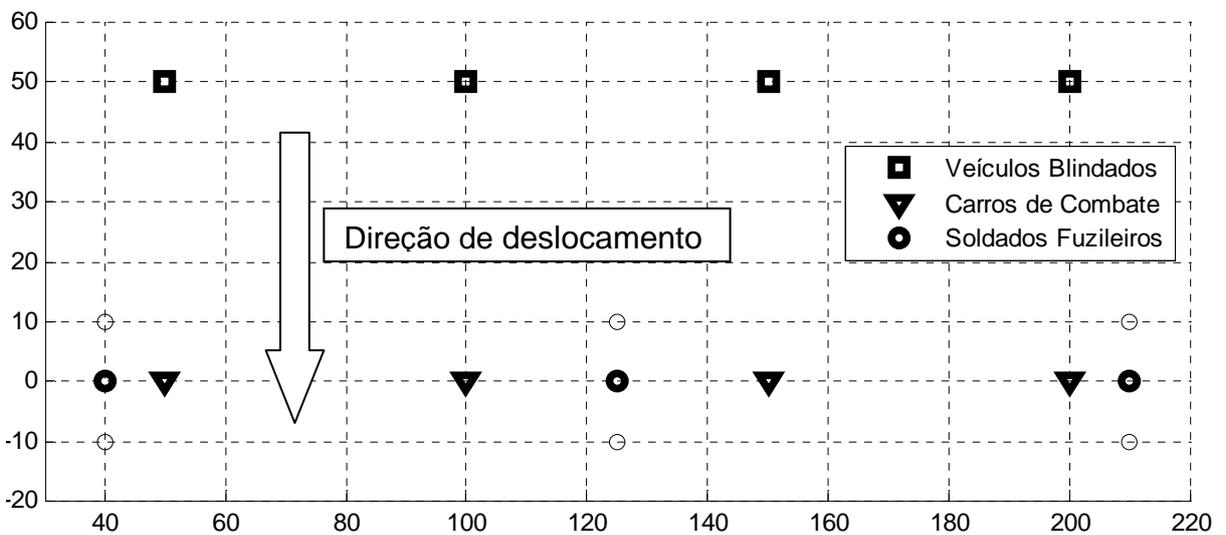


FIG. 23– Posições relativas dos soldados fuzileiros ao lado dos CC do dispositivo FT, eixo 2.

○ eixo 3 ( $Psd_{(40,-10)}$ ,  $Psd_{(125,-10)}$ ,  $Psd_{(210,-10)}$ ), que representa a situação onde os soldados fuzileiros se encontram à frente dos veículos blindados, sendo muito pouco utilizado pelos comandantes de FT, pois é muito precária em relação à segurança, doutrina e à tática.

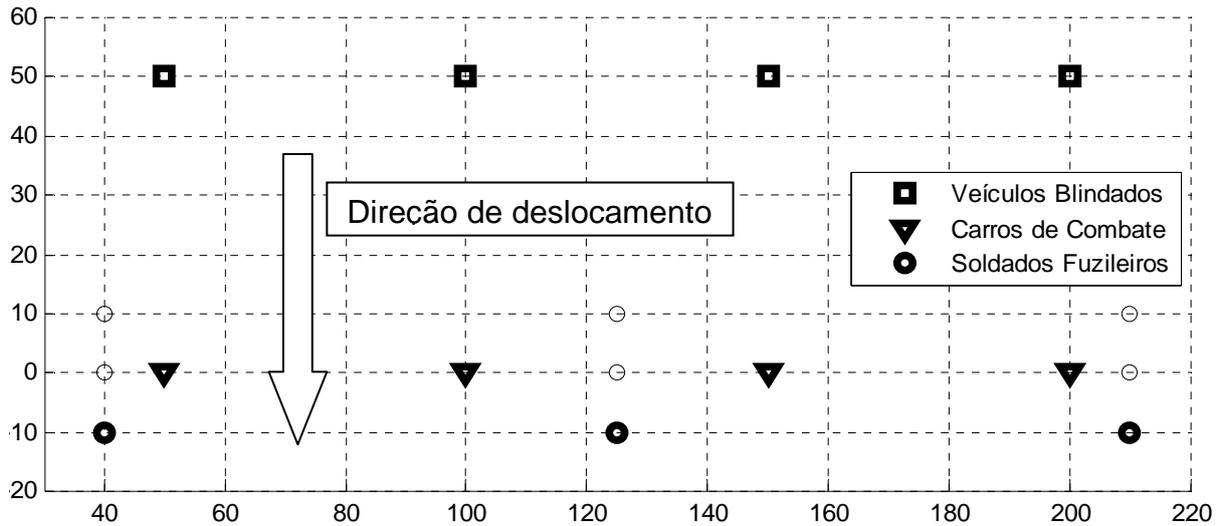


FIG. 24– Posições relativas dos soldados fuzileiros na frente do dispositivo FT, eixo 3.

Define-se, a seguir, os parâmetros considerados para avaliação do desempenho de posicionamento:

a) Erro Médio ( $E_m$ )

$$E_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i, \quad \text{EQ. 25}$$

onde:

$E_i = |Psd_{(x,y)} - \hat{Psd}_{(\hat{x},\hat{y})i}|$ , erro de posicionamento para realização  $i$ ;

$Psd_{(x,y)}$  = posição real do soldado Fuz;

$\hat{Psd}_{(\hat{x},\hat{y})i}$  = posição estimada do soldado fuzileiro, calculada de acordo com o algoritmo de trilateração MMQ ou MMQP para a realização  $i$ ;

$n$  = número total de realizações.

b) Desvio Padrão ( $s$ )

$$s = \left( \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_i - E_m)^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad \text{EQ. 26}$$

c) Erro máximo ( $max$ ) e Erro mínimo ( $min$ )

Valores máximo e mínimo dos erros  $E_i$  encontrados para o universo de  $n$  realizações.

d) média dos valores de erro para o eixo  $x$  ( $E_x$ )

$$\bar{E}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_x ; \quad \text{EQ. 27}$$

$E_x = |Psd_{(x)} - \hat{Psd}_{(x)i}|$ , erro de posicionamento no eixo  $x$  para realização  $i$ ;

$Psd_{(x)}$  = coordenada verdadeira no eixo  $x$  do soldado Fuz;

$\hat{Psd}_{(x)i}$  = coordenada estimada no eixo  $x$  do soldado Fuz, para a realização  $i$ ;

e) média dos valores de erro para o eixo  $y$  ( $E_y$ )

$$\bar{E}_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_y ; \quad \text{EQ. 28}$$

onde:

$E_y = |Psd_{(y)} - \hat{Psd}_{(y)i}|$ , erro de posicionamento no eixo  $y$  para realização  $i$ ;

$Psd_{(y)}$  = coordenada verdadeira no eixo  $y$  do soldado Fuz;

$\hat{Psd}_{(y)i}$  = coordenada estimada no eixo  $y$  do soldado Fuz, para a realização  $i$ ;

f)  $R50$

Corresponde ao raio do círculo, centrado em  $Psd_{(x,y)}$ , que contém 50% das posições estimadas  $\hat{Psd}_{(x,y)}$  do universo de  $n$  realizações;

g)  $R90$

Corresponde ao raio do círculo, centrado em  $Psd_{(x,y)}$ , que contém 90% das posições estimadas  $\hat{Psd}_{(x,y)}$  do universo de  $n$  realizações.

#### 4.2.2 RESULTADOS PARA 4 CARROS (FIXOS) E 8 CARROS

A TAB. 6 apresenta os resultados de posicionamento após 10.000 realizações, considerando a leitura efetuada pelos quatro veículos blindados da extremidade do dispositivo FT ( $CC_{(50,0)}$ ,  $CC_{(200,0)}$ ,  $CC_{(50,50)}$ ,  $CC_{(200,50)}$ ), FIG. 25. Esta tabela está dividida em três partes, a primeira apresenta os resultados obtidos com o algoritmo de trilateração por MMQ, a segunda apresenta os resultados obtidos com o MMQP e a terceira assinala a diferença de resultados entre os dois métodos [Cada parte é

dividida, por sua vez, em outras três partes (1, 2 e 3)], correspondendo ao eixo de posicionamento dos soldados Fuz.

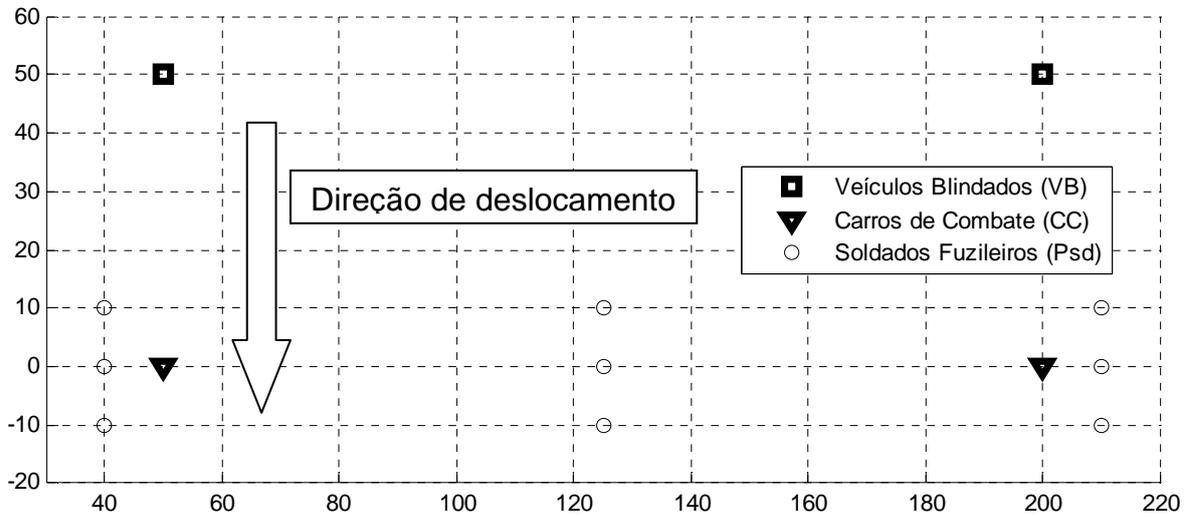


FIG. 25– Posições relativas dos CC e VB da extremidade do dispositivo FT para 4 Carros (fixos).

Na TAB. 6 os menores valores de  $E_m$  foram encontrados para as posições centrais de  $Psd$  ( $Psd_{(125,10)}$ ,  $Psd_{(125,0)}$ ,  $Psd_{(125,-10)}$ ), FIG. 26, sendo o menor valor de  $E_m$  obtido para  $Psd_{(125,10)}$ . Este resultado corresponde ao esperado, pois esta posição encontra-se no interior do dispositivo da FT, FIG. 21. Para esta posição houve uma diminuição de  $E_m$  com o uso do método por trilateração MMQP de 12,8% em relação ao resultado obtido por MMQ.

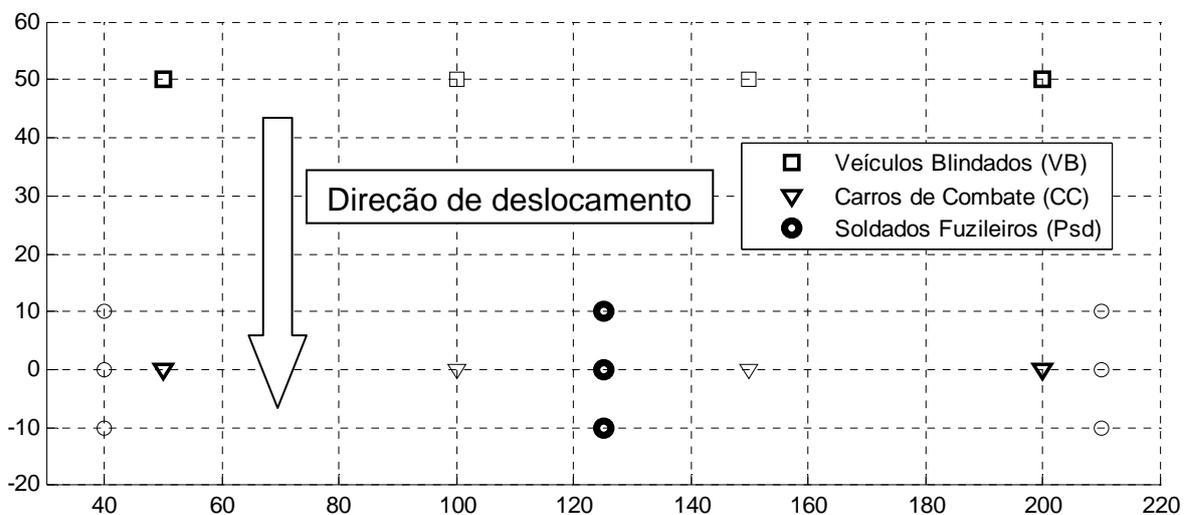


FIG. 26– Posições centrais de  $Psd$  no dispositivo FT para 4 Carros (fixos).

Os Valores de  $E_m$  por MMQ para as posições mais externas de  $Psd$  ( $Psd_{(40,10)}$ ,  $Psd_{(210,10)}$ ,  $Psd_{(40,0)}$ ,  $Psd_{(210,0)}$ ,  $Psd_{(40,-10)}$ ,  $Psd_{(210,-10)}$ ), FIG. 27, foram de 200 a 250% maiores que os valores de  $E_m$  das posições centrais de  $Psd$ . Nas posições centrais de  $Psd$  os valores de  $E_m$  utilizando-se MMQP sofreram uma diminuição de 63% (eixo 1), 42% (eixo 2) e 29% (eixo 3). Neste caso, a utilização de MMQP se mostrou muito vantajosa sendo ainda maior a diferença para os eixos 2 e 3.

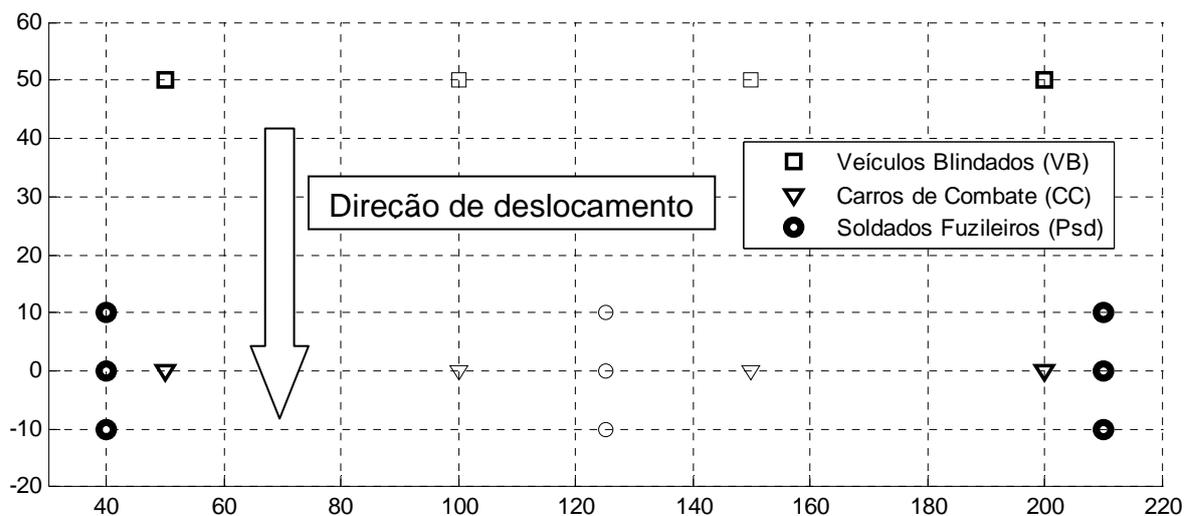


FIG. 27– Posições mais externas de  $Psd$  no dispositivo FT para 4 Carros (fixos).

A explicação para esta melhora no resultado de  $E_m$  por MMQP está no fato de que este método atribui pesos maiores para os valores menores de  $\hat{d}$ , minimizando, assim, o efeito de um erro que é diretamente proporcional à distância real (EQ. 17).

Com 10.000 realizações os valores encontrados para  $max$  foram, em média, 690% maiores que os respectivos valores de  $E_m$  por MMQ, e 453% maiores que os respectivos  $E_m$  por MMQP. Os valores encontrados para  $min$  tenderam a zero para este número de realizações.

No método MMQ o parâmetro  $E_y$  foi de 170 a 310% maior que  $E_x$ , mostrando uma tendência de dispersão alongada no eixo  $y$ . Para o MMQP, este efeito também foi verificado, porém com menor intensidade. Isto ocorre, pois as posições escolhidas para simulação de  $Psd$  estão próximas do eixo CC e a fim de se evitar a colinearidade, qualquer que seja o número de receptores, pelo menos um destes deve estar no eixo dos VB, sendo estas posições mais distantes em relação a  $Psd$ .

Com o uso dos algoritmos de trilateração percebe-se a contaminação por leituras com distâncias maiores, desta forma a tendência de dispersão alongada no eixo  $E_y$ .

Para os parâmetros  $R50$  e  $R90$ , as variações no resultado em função do método de trilateração acompanharam o comportamento dos demais parâmetros.

TAB. 6– Resultado da simulação para quatro receptores após 10.000 realizações.

| Regiões  | Eixo | Posição           | $E_m$ | $s$  | $max$ | $min$ | $E_x$ | $E_y$ | R50  | R90   |
|----------|------|-------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| MMQ      | 1    | $Psd_{(40,10)}$   | 78,4  | 60,0 | 556,2 | 0,3   | 25,4  | 69,9  | 62,4 | 155,8 |
|          |      | $Psd_{(125,10)}$  | 22,8  | 18,2 | 168,8 | 0,1   | 6,8   | 20,6  | 17,5 | 45,8  |
|          |      | $Psd_{(210,10)}$  | 78,7  | 60,1 | 673,2 | 1,1   | 25,5  | 70,2  | 62,3 | 155,7 |
|          | 2    | $Psd_{(40,0)}$    | 79,5  | 61,1 | 660,7 | 0,6   | 26,1  | 70,7  | 63,5 | 159,1 |
|          |      | $Psd_{(125,0)}$   | 25,9  | 18,6 | 176,5 | 0,2   | 7,5   | 23,4  | 21,5 | 49,4  |
|          |      | $Psd_{(210,0)}$   | 79,2  | 61,1 | 710,4 | 0,5   | 25,9  | 70,5  | 62,7 | 158,1 |
|          | 3    | $Psd_{(40,-10)}$  | 82,3  | 61,8 | 541,6 | 0,4   | 27,2  | 73,2  | 66,3 | 161,1 |
|          |      | $Psd_{(125,-10)}$ | 29,4  | 19,8 | 236,7 | 0,3   | 8,5   | 26,5  | 25,3 | 53,1  |
|          |      | $Psd_{(210,-10)}$ | 82,6  | 63,5 | 772,1 | 0,7   | 27,2  | 73,5  | 65,8 | 163,1 |
| MMQP     | 1    | $Psd_{(40,10)}$   | 32,5  | 17,1 | 133,5 | 0,2   | 30,9  | 6,3   | 31,9 | 54,9  |
|          |      | $Psd_{(125,10)}$  | 19,9  | 14,3 | 151,8 | 0,3   | 5,3   | 18,2  | 16,6 | 37,9  |
|          |      | $Psd_{(210,10)}$  | 32,3  | 17,2 | 155,7 | 0,4   | 30,8  | 6,2   | 31,8 | 55,1  |
|          | 2    | $Psd_{(40,0)}$    | 34,0  | 17,8 | 190,3 | 0,2   | 31,1  | 9,5   | 33,0 | 57,4  |
|          |      | $Psd_{(125,0)}$   | 24,0  | 15,3 | 167,6 | 0,3   | 5,6   | 22,2  | 21,0 | 43,9  |
|          |      | $Psd_{(210,0)}$   | 34,0  | 18,0 | 171,3 | 0,3   | 31,0  | 9,5   | 32,8 | 57,9  |
|          | 3    | $Psd_{(40,-10)}$  | 37,1  | 19,1 | 162,5 | 0,2   | 32,1  | 13,3  | 35,5 | 61,7  |
|          |      | $Psd_{(125,-10)}$ | 28,8  | 17,2 | 168,4 | 0,2   | 6,2   | 27,0  | 26,1 | 51,5  |
|          |      | $Psd_{(210,-10)}$ | 37,3  | 19,1 | 200,5 | 0,2   | 32,3  | 13,5  | 35,9 | 61,9  |
| MMQ-MMQP | 1    | $Psd_{(40,10)}$   | 45,9  | 43,0 | 422,6 | 0,1   | -5,6  | 63,5  | 30,5 | 100,9 |
|          |      | $Psd_{(125,10)}$  | 2,9   | 3,9  | 17,0  | -0,2  | 1,4   | 2,4   | 1,0  | 7,9   |
|          |      | $Psd_{(210,10)}$  | 46,4  | 42,9 | 517,4 | 0,7   | -5,3  | 64,0  | 30,5 | 100,6 |
|          | 2    | $Psd_{(40,0)}$    | 45,5  | 43,3 | 470,4 | 0,3   | -5,0  | 61,2  | 30,5 | 101,8 |
|          |      | $Psd_{(125,0)}$   | 1,9   | 3,3  | 9,0   | -0,1  | 1,8   | 1,2   | 0,5  | 5,5   |
|          |      | $Psd_{(210,0)}$   | 45,2  | 43,1 | 539,0 | 0,2   | -5,0  | 61,0  | 29,9 | 100,1 |
|          | 3    | $Psd_{(40,-10)}$  | 45,3  | 42,7 | 379,1 | 0,2   | -4,9  | 60,0  | 30,8 | 99,3  |
|          |      | $Psd_{(125,-10)}$ | 0,5   | 2,6  | 68,4  | 0,1   | 2,3   | -0,4  | -0,8 | 1,7   |
|          |      | $Psd_{(210,-10)}$ | 45,3  | 44,3 | 571,6 | 0,5   | -5,1  | 60,0  | 29,9 | 101,2 |

A TAB. 7 apresenta os resultados para o cálculo do posicionamento do soldado, considerando a leitura efetuada pelos oito veículos blindados do dispositivo FT ,FIG. 28. Assim como a TAB. 6, está dividida em três partes: a primeira apresenta os resultados obtidos com o uso de MMQ, a segunda com MMQP e a terceira assinala a diferença de resultados entre os dois métodos.

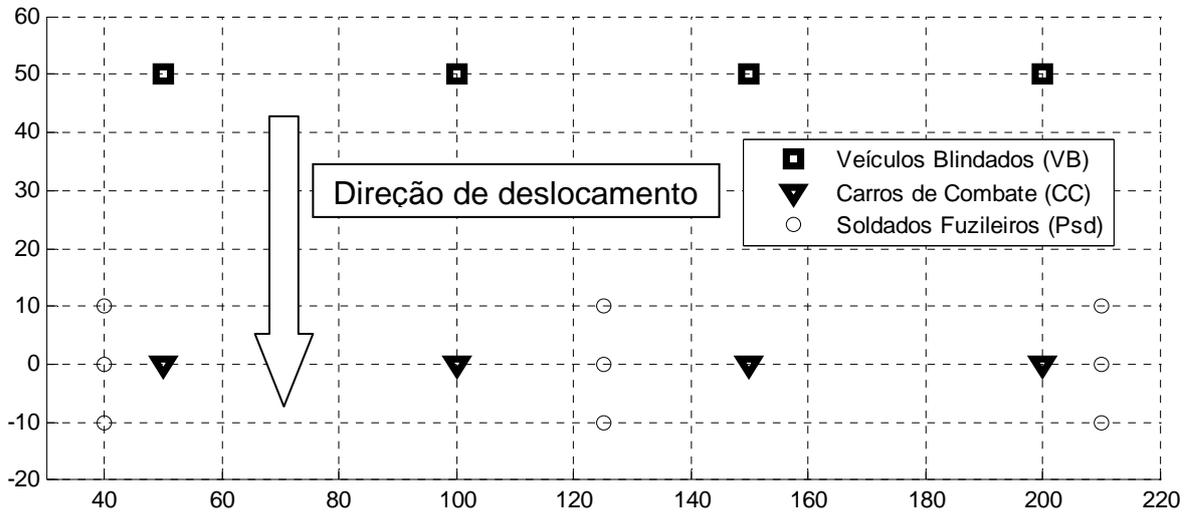


FIG. 28– Posições relativas aos oito veículos blindados (CC e VB) do dispositivo FT, para 8 Carros.

Assim como na situação anterior, os menores valores de  $E_m$  foram encontrados para as posições centrais de  $Psd$  ( $Psd_{(125,10)}$ ,  $Psd_{(125,0)}$ ,  $Psd_{(125,-10)}$ ), FIG. 29, para MMQ e MMQP. O menor valor de  $E_m$  foi obtido para  $Psd_{(125,10)}$ .

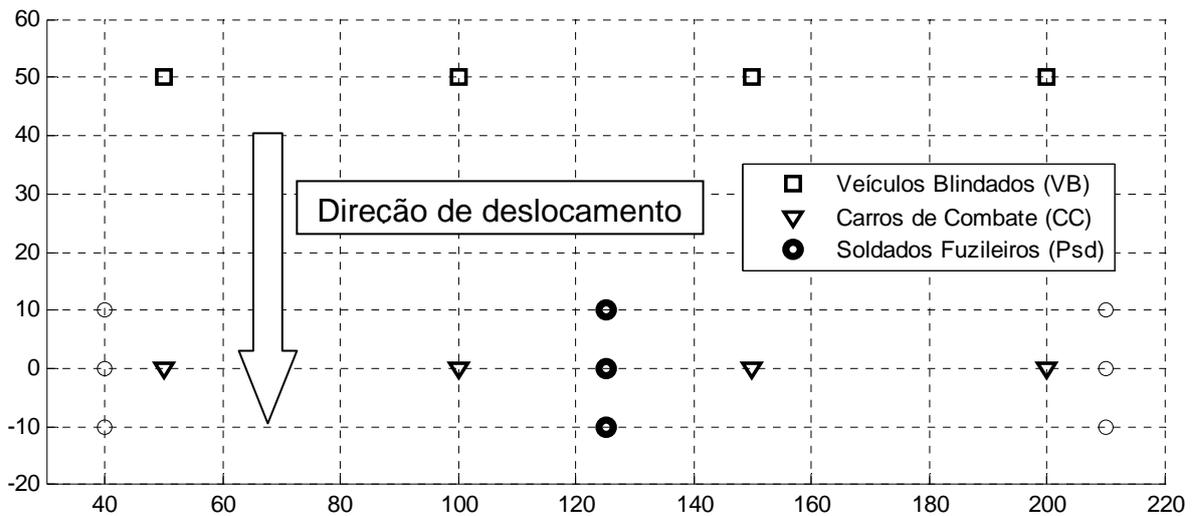


FIG. 29– Posições centrais de  $Psd$  no dispositivo FT, para 8 Carros.

Para estas posições os valores obtidos com MMQP tiveram um aumento de 16% (eixo 1), 35% (eixo 2) e 46% (eixo 3) em relação aos resultados obtidos com MMQ, ou seja, para esta configuração, o método MMQP apresentou desempenho pior que o MMQ. Por outro lado, nas posições externas de  $Psd$  ( $Psd_{(40,10)}$ ,  $Psd_{(210,10)}$ ,  $Psd_{(40,0)}$ ,  $Psd_{(210,0)}$ ,  $Psd_{(40,-10)}$ ,  $Psd_{(210,-10)}$ ), FIG. 30, os resultados de  $E_m$  para MMQ foram 66% (eixo 1), 56% (eixo 2), 45% (eixo 3) maiores que os correspondentes no método MMQP.

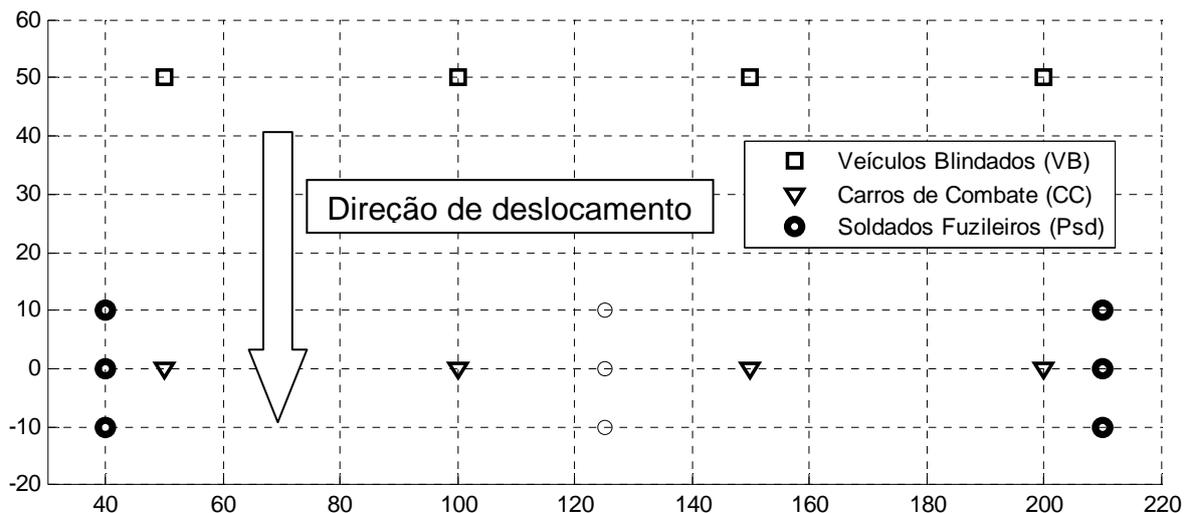


FIG. 30– Posições mais externas de  $Psd$  no dispositivo FT, para 8 Carros.

Os valores encontrados para  $s, max, E_x, E_y, R50$  e  $R90$  acompanharam o desempenho encontrado para  $E_m$ .

Considerando os resultados apresentados pelas TAB. 6 e TAB. 7, pode-se concluir que, de maneira geral, o uso do algoritmo de trileração por MMQP forneceu melhores resultados para os valores externos de  $Psd$ . Porém, a TAB. 7 mostra que para as posições centrais o método MMQP se mostrou desvantajoso em termos de  $E_m$ .

De todas as situações analisadas, percebe-se que o menor valor de erro  $E_m$  foi obtido com MMQ em  $Psd_{(125,10)}$  para oito receptores e os menores valores de  $R90$  também foram encontrados para oito receptores, com 78,7 m de média para MMQ e 60,8 m de média para MMQP.

TAB. 7– Resultado da simulação para oito receptores após 10.000 realizações.

| Regiões  | Eixo | Posição           | $E_m$ | $s$  | $max$  | $min$ | $E_x$ | $E_y$ | R50  | R90   |
|----------|------|-------------------|-------|------|--------|-------|-------|-------|------|-------|
| MMQ      | 1    | $Psd_{(40,10)}$   | 60,9  | 31,8 | 491,1  | 0,5   | 44,4  | 33,5  | 58,0 | 98,0  |
|          |      | $Psd_{(125,10)}$  | 14,1  | 9,3  | 87,5   | 0,2   | 5,8   | 11,8  | 12,1 | 25,9  |
|          |      | $Psd_{(210,10)}$  | 61,0  | 31,8 | 591,3  | 0,2   | 44,7  | 33,4  | 58,2 | 97,3  |
|          | 2    | $Psd_{(40,0)}$    | 63,1  | 34,6 | 356,5  | 0,5   | 43,6  | 37,9  | 59,2 | 103,7 |
|          |      | $Psd_{(125,0)}$   | 15,2  | 10,0 | 92,0   | 0,3   | 6,4   | 12,6  | 13,1 | 28,2  |
|          |      | $Psd_{(210,0)}$   | 63,2  | 34,7 | 456,5  | 1,0   | 44,0  | 37,7  | 59,5 | 103,6 |
|          | 3    | $Psd_{(40,-10)}$  | 66,3  | 37,6 | 453,5  | 1,3   | 43,3  | 43,1  | 61,0 | 109,7 |
|          |      | $Psd_{(125,-10)}$ | 17,2  | 11,3 | 90,2   | 0,1   | 7,1   | 14,3  | 14,9 | 31,9  |
|          |      | $Psd_{(210,-10)}$ | 66,7  | 38,1 | 406,0  | 0,7   | 43,1  | 43,7  | 61,4 | 110,4 |
| MMQP     | 1    | $Psd_{(40,10)}$   | 36,4  | 20,6 | 165,0  | 0,5   | 34,0  | 9,4   | 32,1 | 64,9  |
|          |      | $Psd_{(125,10)}$  | 14,7  | 10,8 | 248,1  | 0,1   | 5,3   | 12,6  | 12,4 | 25,9  |
|          |      | $Psd_{(210,10)}$  | 36,9  | 20,8 | 200,8  | 0,8   | 34,4  | 9,6   | 33,0 | 65,8  |
|          | 2    | $Psd_{(40,0)}$    | 40,5  | 23,7 | 205,7  | 0,3   | 33,4  | 17,9  | 35,4 | 74,0  |
|          |      | $Psd_{(125,0)}$   | 17,9  | 13,5 | 122,8  | 0,2   | 4,7   | 16,4  | 14,3 | 34,5  |
|          |      | $Psd_{(210,0)}$   | 40,5  | 23,6 | 243,3  | 0,4   | 33,4  | 17,8  | 35,5 | 74,1  |
|          | 3    | $Psd_{(40,-10)}$  | 45,9  | 27,0 | 215,5  | 0,2   | 32,2  | 27,7  | 40,3 | 83,0  |
|          |      | $Psd_{(125,-10)}$ | 21,4  | 16,5 | 156,7  | 0,3   | 5,1   | 19,9  | 17,5 | 40,8  |
|          |      | $Psd_{(210,-10)}$ | 46,0  | 27,9 | 221,7  | 0,9   | 32,2  | 27,7  | 39,8 | 84,6  |
| MMQ-MMQP | 1    | $Psd_{(40,10)}$   | 25,0  | 11,0 | 326,0  | 0,0   | 10,0  | 24,0  | 26,0 | 33,0  |
|          |      | $Psd_{(125,10)}$  | -1,0  | -1,0 | -161,0 | 0,0   | 0,0   | -1,0  | 0,0  | 0,0   |
|          |      | $Psd_{(210,10)}$  | 24,0  | 11,0 | 391,0  | -1,0  | 10,0  | 24,0  | 25,0 | 31,0  |
|          | 2    | $Psd_{(40,0)}$    | 23,0  | 11,0 | 151,0  | 0,0   | 10,0  | 20,0  | 24,0 | 30,0  |
|          |      | $Psd_{(125,0)}$   | -3,0  | -3,0 | -31,0  | 0,0   | 2,0   | -4,0  | -1,0 | -6,0  |
|          |      | $Psd_{(210,0)}$   | 23,0  | 11,0 | 213,0  | 1,0   | 11,0  | 20,0  | 24,0 | 29,0  |
|          | 3    | $Psd_{(40,-10)}$  | 20,0  | 11,0 | 238,0  | 1,0   | 11,0  | 15,0  | 21,0 | 27,0  |
|          |      | $Psd_{(125,-10)}$ | -4,0  | -5,0 | -67,0  | 0,0   | 2,0   | -6,0  | -3,0 | -9,0  |
|          |      | $Psd_{(210,-10)}$ | 21,0  | 10,0 | 184,0  | 0,0   | 11,0  | 16,0  | 22,0 | 26,0  |

Pode-se considerar que os resultados apresentados para esta abordagem não recomendam a aplicação de RFID (considerando o equipamento utilizado) no posicionamento de soldados em campo de batalha, em função das distâncias entre os veículos blindados (50m) para este estudo, que é menor que o melhor resultado conseguido para R90.

#### 4.2.3 RESULTADOS CONSIDERANDO APENAS AS MENORES LEITURAS DE $\hat{d}$

Neste item, apresenta-se os resultados de posicionamento considerando apenas os menores valores de leituras  $\hat{d}$  a partir de um conjunto de 8 medidas. As

simulações foram realizados considerando 3, 4, 5, 6 e 7 receptores. Para 8 receptores os cálculos foram realizados considerando posições fixas.

A FIG. 31 representa uma situação onde foram realizadas leituras do sinal RFID da *tag* do soldado fuzileiro assinalado, pelas oito viaturas blindadas, sendo destacada as três posições que tiveram as menores leitura de  $\hat{d}$ , neste caso coincidindo com as posições dos veículos blindados mais próximos de  $Psd$ .

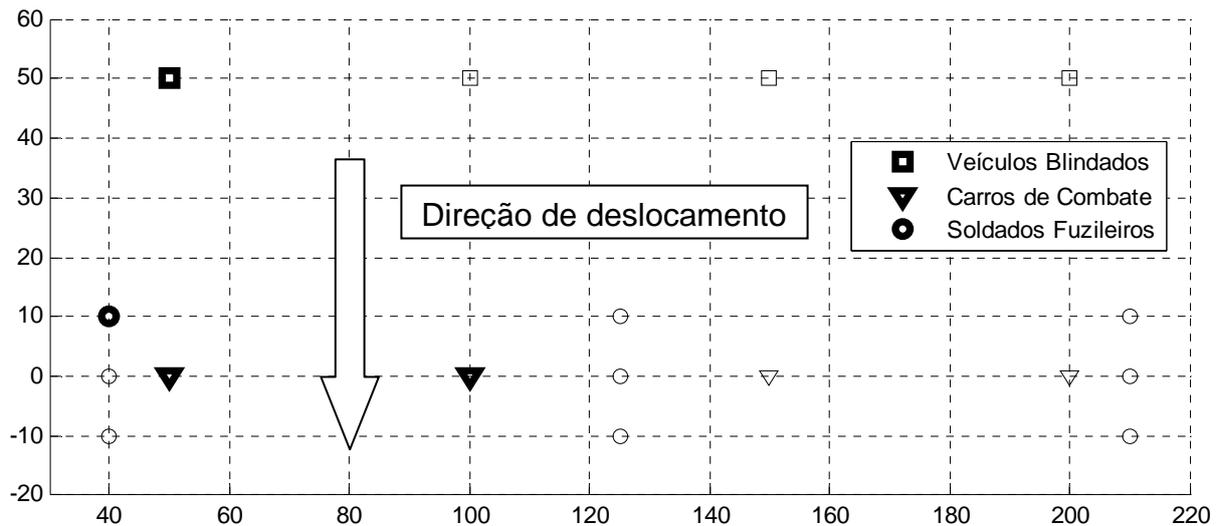


FIG. 31– Posições mais externas de  $Psd$  no dispositivo FT, para 8 Carros.

Com estas três posições selecionadas é realizado o cálculo do posicionamento estimado  $\hat{Psd}_{(x,y)i}$  (posição estimada do soldado fuzileiro, calculada de acordo com o algoritmo de trilateração por MMQ ou MMQP para a realização  $i$ , a distância vetorial entre esta posição e a posição real de  $Psd$  chamou-se de  $E_i$  (erro de posicionamento para realização  $i$ . Assim quando menciona-se 10.000 realizações, os valores expressos nesta tabela são as médias para todas as realizações, EQ. 25.

Tal como realizado no item 4.2.2, os parâmetros de desempenho do posicionamento foram calculados para as nove posições ( $Psd$ ) do esquema FT (FIG. 21) e para 10.000 realizações.

Para 3 e 4 receptores foi utilizada uma condição para evitar a colinearidade de receptores e soldados, pois nesta situação não há uma única solução. Para 3 receptores o cálculo da posição por trilateração MMQ e MMQP é idêntico, constatado numericamente e algebricamente (comparação literal dos resultados,

com programa Wolfram Mathematica 6.0) mesmo assim optou-se por repetir os resultados na coluna correspondente na TAB. 8 para fins de comparação.

Pode-se observar que os melhores resultados apresentados nesta tabela correspondem à solução que utilizou 3 receptores, mesmo com a aplicação do método MMQP para um maior número de receptores.

TAB. 8– Resultado da simulação de 3 a 8 receptores, média dos resultados para 10.000 realizações, com a abordagem menor  $\hat{d}$ .

| Eventos  | Eixo | Comparação dos Erros médios ( $E_m$ ) |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|          |      | Psd\Receptores                        | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| 10000    |      |                                       |      |      |      |      |      |      |
| MMQ      | 1    | $Psd_{(40,10)}$                       | 15,5 | 21,3 | 31,4 | 41,5 | 50,5 | 61,2 |
|          |      | $Psd_{(125,10)}$                      | 9,1  | 10,9 | 13,9 | 13,6 | 13,9 | 14,1 |
|          |      | $Psd_{(210,10)}$                      | 15,6 | 21,4 | 31,6 | 41,3 | 50,6 | 61,1 |
|          | 2    | $Psd_{(40,0)}$                        | 17,9 | 23,6 | 33,2 | 43,2 | 52,5 | 63,2 |
|          |      | $Psd_{(125,0)}$                       | 11,8 | 14   | 15,1 | 16   | 15,2 | 15,4 |
|          |      | $Psd_{(210,0)}$                       | 17,8 | 23,6 | 33,2 | 43,9 | 52,1 | 63,1 |
|          | 3    | $Psd_{(40,-10)}$                      | 20,9 | 27,1 | 36,1 | 46,7 | 54,1 | 66,7 |
|          |      | $Psd_{(125,-10)}$                     | 16   | 17,3 | 17,3 | 17,7 | 17,1 | 17,2 |
|          |      | $Psd_{(210,-10)}$                     | 21,1 | 27,2 | 36,2 | 47,3 | 54,9 | 65,8 |
| MMQP     | 1    | $Psd_{(40,10)}$                       | 15,5 | 18,7 | 25,3 | 30   | 33,8 | 36,7 |
|          |      | $Psd_{(125,10)}$                      | 9,1  | 11,6 | 13,7 | 14,8 | 15   | 14,7 |
|          |      | $Psd_{(210,10)}$                      | 15,6 | 18,6 | 25,5 | 30,2 | 33,5 | 36,9 |
|          | 2    | $Psd_{(40,0)}$                        | 17,9 | 21,2 | 28,1 | 32,7 | 38   | 40,8 |
|          |      | $Psd_{(125,0)}$                       | 11,8 | 17,2 | 17,5 | 18,5 | 17,9 | 18,1 |
|          |      | $Psd_{(210,0)}$                       | 17,8 | 21,2 | 27,9 | 33,4 | 37,8 | 40,5 |
|          | 3    | $Psd_{(40,-10)}$                      | 20,9 | 26,4 | 33,2 | 38,6 | 43,2 | 45,9 |
|          |      | $Psd_{(125,-10)}$                     | 16   | 23,2 | 22   | 21,5 | 21,4 | 21,3 |
|          |      | $Psd_{(210,-10)}$                     | 21,1 | 26,6 | 33,4 | 38,8 | 43,8 | 46,1 |
| MMQ-MMQP | 1    | $Psd_{(40,10)}$                       | 0    | 2,6  | 6,1  | 11,5 | 16,7 | 24,5 |
|          |      | $Psd_{(125,10)}$                      | 0    | -0,7 | 0,2  | -1,2 | -1,1 | -0,6 |
|          |      | $Psd_{(210,10)}$                      | 0    | 2,8  | 6,1  | 11,1 | 17,1 | 24,2 |
|          | 2    | $Psd_{(40,0)}$                        | 0    | 2,4  | 5,1  | 10,5 | 14,5 | 22,4 |
|          |      | $Psd_{(125,0)}$                       | 0    | -3,2 | -2,4 | -2,5 | -2,7 | -2,7 |
|          |      | $Psd_{(210,0)}$                       | 0    | 2,4  | 5,3  | 10,5 | 14,3 | 22,6 |
|          | 3    | $Psd_{(40,-10)}$                      | 0    | 0,7  | 2,9  | 8,1  | 10,9 | 20,8 |
|          |      | $Psd_{(125,-10)}$                     | 0    | -5,9 | -4,7 | -3,8 | -4,3 | -4,1 |
|          |      | $Psd_{(210,-10)}$                     | 0    | 0,6  | 2,8  | 8,5  | 11,1 | 19,7 |

Comparando-se os resultados encontrados na TAB. 7 e TAB. 8 comprova-se a abordagem de 3 receptores como a melhor a ser adotada. Considerando isto, optou-se por realizar o cálculo dos parâmetros  $E_m, s, max, E_x, E_y, R50$  e  $R90$  nesta situação ( 3 receptores com menores  $\hat{d}$  realizando-se um conjunto de 50.000 realizações.

Este procedimento tende a eliminar eventuais flutuações nos resultados devido a um insuficiente número de realizações. A TAB. 9 apresenta os parâmetros  $E_m, s, max, E_x, E_y, R50$  e  $R90$  para 3 receptores em 50.000 realizações.

Observa-se da TAB. 9 que o valor de  $E_m$  permaneceu na casa dos 9 m, para  $Psd_{(125,10)}$ . O desvio padrão  $s$  demonstrou a mesma distribuição de resultados que  $E_m$ , o valor de  $max$  ficou em média 832% maior que  $E_m$ , os valores de  $min$  tenderam a zero com até duas casas decimais.

No estudo de  $E_x$  e  $E_y$ , introduziram-se duas colunas, uma para  $E_x/E_y$ , onde a distribuição de valores de  $\hat{Psd}$  em torno de  $Psd_{(40,-10)}$  e  $Psd_{y(210,-10)}$  foi praticamente 1, o que define na prática uma circunferência ou ausência de tendência.

Os valores centrais de  $Psd$  mantiveram uma tendência de distribuição favorável ao eixo  $y$  ( $E_y$ ). A coluna  $\sqrt{E_x * E_y}$  apresenta o fator de área coerente com a distribuição dos demais parâmetros, onde os menores valores desta coluna correspondem aos menores valores de  $E_m$ .

Os parâmetros  $R50$  são em média 13% menores que os respectivos  $E_m$ , demonstrando a distribuição logarítmica do modelo RSSI  $\times d$  (EQ. 18). Os valores de  $R90$  ficaram em média 77% maiores que  $E_m$  em valores relativos e em média 32 m para as posições externas de  $Psd$  e 21 m para as posições interna de  $Psd$ , em valores absolutos.

TAB. 9– Resultado da simulação para 3 receptores, média dos resultados para 50.000 realizações, coma a abordagem menor  $\hat{d}$ .

|     | Eixo | 50.000/N3         | $E_m$ | $s$   | $max$  | $min$ | $E_x$ | $E_y$ | $E_x/E_y$ | $\sqrt{E_x * E_y}$ | R50   | R90   |
|-----|------|-------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----------|--------------------|-------|-------|
| MMQ | 1    | $Psd_{(40,10)}$   | 15,61 | 9,69  | 115,51 | 0,05  | 13,08 | 6,14  | 2,13      | 8,96               | 13,68 | 28,30 |
|     |      | $Psd_{(125,10)}$  | 8,98  | 6,23  | 96,45  | 0,04  | 3,75  | 7,45  | 0,50      | 5,28               | 7,99  | 15,38 |
|     |      | $Psd_{(210,10)}$  | 15,54 | 9,70  | 132,49 | 0,07  | 13,00 | 6,17  | 2,10      | 8,96               | 13,68 | 28,09 |
|     | 2    | $Psd_{(40,0)}$    | 17,70 | 11,09 | 180,28 | 0,06  | 12,90 | 9,29  | 1,39      | 10,95              | 15,52 | 32,05 |
|     |      | $Psd_{(125,0)}$   | 11,70 | 8,92  | 84,55  | 0,07  | 3,32  | 10,62 | 0,31      | 5,94               | 10,08 | 20,00 |
|     |      | $Psd_{(210,0)}$   | 17,67 | 11,02 | 145,33 | 0,07  | 12,95 | 9,20  | 1,41      | 10,92              | 15,47 | 32,10 |
|     | 3    | $Psd_{(40,-10)}$  | 21,01 | 13,48 | 275,55 | 0,05  | 13,15 | 13,32 | 0,99      | 13,23              | 18,48 | 37,51 |
|     |      | $Psd_{(125,-10)}$ | 16,04 | 12,06 | 103,63 | 0,03  | 3,87  | 14,90 | 0,26      | 7,59               | 13,64 | 28,26 |
|     |      | $Psd_{(210,-10)}$ | 21,09 | 13,49 | 252,50 | 0,12  | 13,26 | 13,27 | 1,00      | 13,26              | 18,60 | 37,56 |

Neste ponto do estudo questionou-se a possibilidade de existir uma configuração ou arranjo de receptores (CC e VB) que pudessem oferecer menores

valores de  $E_m$ , para este estudo escolheu-se a posição  $Psd_{(125,10)}$ , em função de ter sido o melhor resultado encontrado, na TAB. 9. Para isto testaram-se todas as possibilidades viáveis de escolha de três receptores entre oito possíveis em relação a este arranjo, foram descartadas as possibilidades colineares, neste caso, encontraram-se 48 arranjos possíveis.

Na TAB. 10 são apresentados os resultados desta abordagem para 10.000 realizações na forma de histograma barra. Na lateral direita a numeração de 0 a 1400 se refere ao número de realizações para cada arranjo de posições CCs e Vbs, onde são indicados através de barras horizontais a amplitude destas ocorrências para cada um dos 48 arranjos, possíveis.

A linha Arr indica o arranjo correspondente,  $E_m$  é o erro médio para cada arranjo de acordo com o número de realizações, as posições dos CCs e VBs corresponde as numerações 1 a 4 ( $CC_{(50,50)}$ ,  $CC_{(100,50)}$ ,  $CC_{(150,50)}$ ,  $CC_{(200,50)}$ ) e dos CCs corresponde as numerações de 5 a 6 ( $CC_{(50,0)}$ ,  $CC_{(100,0)}$ ,  $CC_{(150,0)}$ ,  $CC_{(200,0)}$ ), respectivamente como indicado na TAB. 10, “Posição de CCs e VBs.

O menor valor de  $E_m$ , 10,24 metros, foi encontrado para Arr 30 que corresponde a posição 2, 6 e 7, respectivamente  $CC_{(100,50)}$ ,  $CC_{(100,0)}$ ,  $CC_{(150,0)}$ , da FIG. 21. Porém, o segundo menor valor de  $E_m$ , 10,46 metros, foi encontrado para Arr 40 que corresponde a posição 3, 6 e 7, respectivamente  $CC_{(150,50)}$ ,  $CC_{(100,0)}$ ,  $CC_{(150,0)}$ . Sendo estes arranjos simétricos considerou-se o  $E_m$  de 10,34 metros o valor de comparação a ser utilizado, que corresponde a média ponderada destes dois resultados.

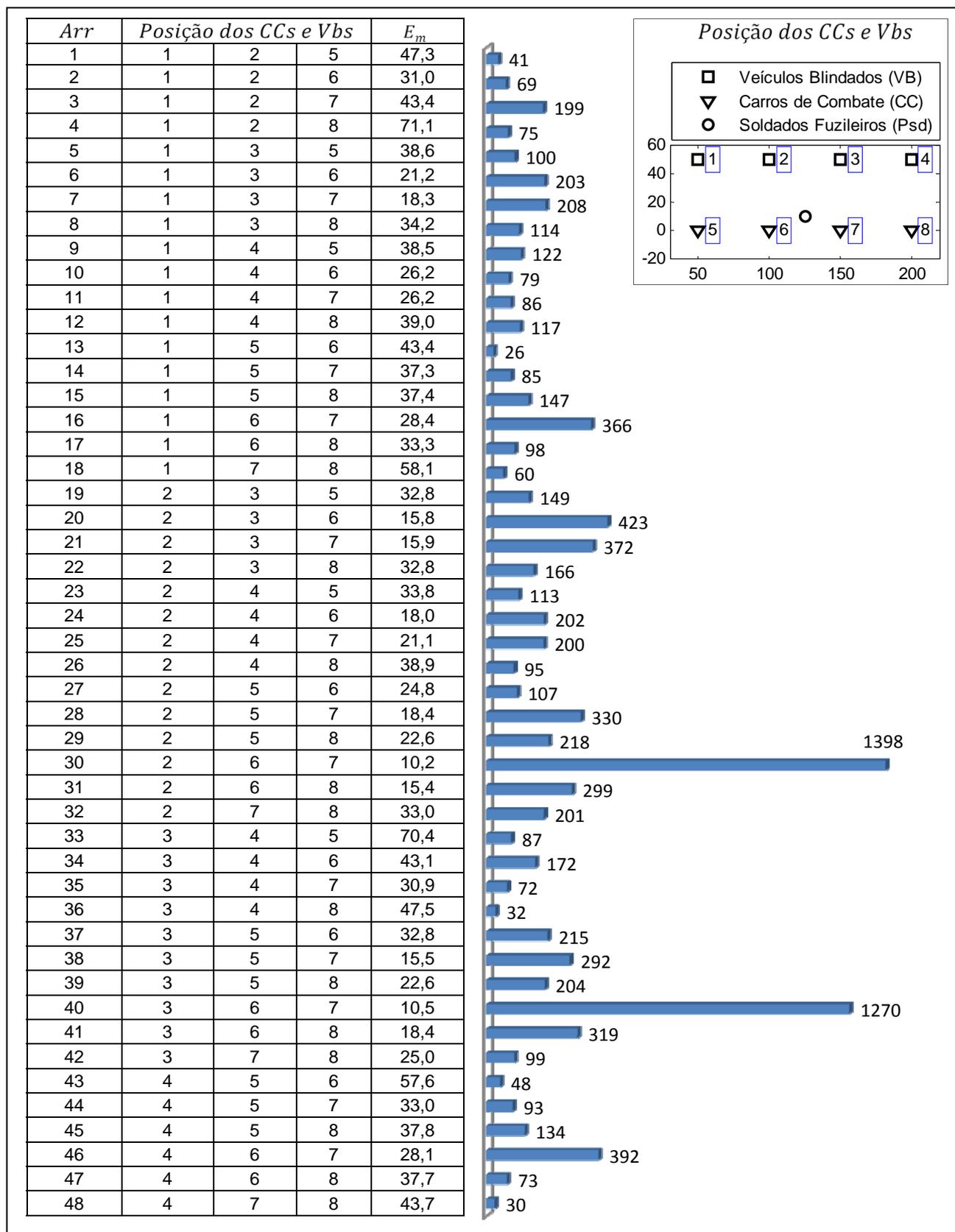
Apesar das posições serem simétricas os valores dos parâmetros estudados, como  $E_m$ , não foram exatamente “iguais”, justificando o grande número de realizações, neste estudo considerou-se 10.000 um valor razoável de realizações em relação aos resultados encontrados.

Foram assinalados os dez arranjos com menor valor de  $E_m$ , de maneira geral estes valores estão relacionados com o número de realizações e com a posição relativa a  $Psd_{(125,10)}$ , desta forma aqueles que tiveram o maior número de realizações com configuração mais próxima de  $Psd_{(125,10)}$ , apresentaram menor valor de  $E_m$ , respectivamente, sendo um resultado esperado em função destas observações.

A análise realizada com a TAB. 10 para três receptores, também foi efetuada para as outras oitos posições de  $Psd$  onde observou-se que os valores de  $E_m$  encontrados para esta abordagem foram em média 10 a 15% maiores que a abordagem menor  $\hat{d}$ . Isto ocorre devido a dinâmica da simulação de  $\hat{d}$  pela equação EQ. 16, onde os menores valores de distância têm um erro embutido menor beneficiando a abordagem menor  $\hat{d}$  em relação ao arranjo 30 e 40 que mantêm fixa as posições dos receptores em relação a  $Psd_{(125,10)}$ .

Esta análise também foi realizada para 4, 5 e 6 receptores e para as nove posições de  $Psd$ , sendo que a utilização de 3 receptores escolhidos em função da menor distância ( $\hat{d}$ ) para o cálculo da posição estimada do soldado fuzileiro ( $\hat{Psd}_{(x,y)}$ ) mostrou ser a melhor forma de se obter este posicionamento em relação aos métodos apresentados neste trabalho.

TAB. 10– Resultado da simulação para um arranjo de 3 receptores em 8, em 10.000 realizações em relação a  $Psd_{(125,10)}$



### 4.3 CONCLUSÃO

Neste capítulo foram apresentados e analisados os resultados referentes à posição estimada do soldado fuzileiro em relação a oito receptores RFID (*readers*), instalados em veículos blindados dentro do contexto de uma fração de Força Tarefa (FT).

Os métodos utilizados para o cálculo do posicionamento foram trilateração por mínimos quadrados (MMQ) e por mínimos quadrados ponderados (MMQP). Para que este cálculo fosse possível utilizou-se um modelo para geração das distâncias estimadas entre os soldados e os veículos blindados, ou seja, entre as *tags* e os *readers* RFID (EQ. 18).

O desempenho dos métodos utilizando-se como parâmetros: erro médio, desvio padrão, erro máximo, erro mínimo, erro médio no eixo x, erro médio no eixo y, R50 e R90, obteve distribuição análoga dos resultados.

As simulações de posicionamento foram realizadas para posições fixas dos *readers* e para uma situação na qual 3 a 8 leitores eram selecionados em função dos menores valores da distância estimada.

Através destes parâmetros foi possível verificar o desempenho do método de triangulação por MMQ em relação à MMQP. Para todas as situações em que o soldado fuzileiro esteve posicionado externo ao dispositivo FT, MMQP demonstrou melhores resultados, porém o mesmo não ocorreu para as posições internas ao dispositivo.

Dos resultados obtidos, apresentados na TAB. 6, 7, 8,9 e 10, concluiu-se que:

- Em todas as situações nas quais o soldado fuzileiro esteve posicionado externamente ao dispositivo FT, o método MMQP apresentou desempenho superior. Nas posições internas e para 8 receptores, o método MMQP foi pior em termos de erro médio;

- Os resultados encontrados com a abordagem para posições fixas de *readers*, 4 e 8 receptores, apresentaram valores muito altos de erro médio em relação às distâncias entre os veículos blindados, inviabilizando, a princípio, a utilização desta abordagem na prática;

- A utilização de um maior número de receptores não melhorou o resultado final dos parâmetros estudados em nenhuma das abordagens em função da dinâmica de estimação de distância da equação EQ. 16;

Com o uso da abordagem de seleção das menores leituras de distância estimada, concluiu-se que três receptores sendo escolhidos num contexto de oito possíveis, foi a alternativa que apresentou os melhores resultados para este estudo. Além do erro médio, o valor para R90 encontrado neste caso foi significativamente baixo: 32 metros da posição relativa de um soldado em relação ao veículo blindado com 90% de probabilidade de posicionamento dentro deste valor de raio, em torno da posição real. Apesar dos valores para posições fixas apresentar valores de erro médio apenas 15% maiores não é uma abordagem viável num contexto tático, pois a posição do soldado, sendo desconhecida, impede a escolha do melhor arranjo para o cálculo da posição.

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 CONCLUSÕES

Através da revisão bibliográfica foi possível notar a grande ênfase que é dada ao emprego do RFID com objetivo rastreamento de objetos “*indoor*” e utilização com o objetivo de obter dados de posicionamento como ferramenta complementar ao uso de equipamentos GNSS nestes ambientes, seu uso “*outdoor*” é muito pouco explorado.

Como estudo da Força Tarefa, optou-se pelo uso de um dispositivo FT com oito veículos blindados e nove posições para os soldados fuzileiros, numa formação em linha. O equipamento RFID escolhido foi o RFID ativo que contém uma fonte de energia própria e que permite a transmissão de um sinal cuja potência, na recepção, é suficientemente alta para estabelecer a relação entre RSSI e distância entre o transmissor e receptor. Com os dados de distância estimada entre a *tag* e os *readers* e com o uso do algoritmo de trilateração pôde-se obter a posição estimada dos Fuz Bld.

Para a melhor definição de um modelo para representar o uso deste equipamento em campo, foram realizadas experimento do sinal RFID das *tags* disponíveis em diversas situações e locais.

Com análise dos dados coletados através dos equipamentos RFID utilizados, verificou-se que o mais recomendado seria utilizar os dados locais dos experimentos para o cálculo da reta resultante da aplicação do método dos mínimos quadrados.

Os dados levantados são referentes a cada par, composto por um *reader* e uma *tag*, pois verificou-se que a reta calculada por MMQ é exclusiva para cada um destes pares combinados. Sendo assim, para o equipamento utilizado no teste não foi possível levantar uma reta MMQ que atendesse a todas as situações. Optou-se pelo uso dos dados produzidos pela etiqueta Lsv no experimento realizado no Regimento Andrade Neves, por ser o que mais se aproximava do contexto deste trabalho,

apesar de não ser o experimento que apresentou o melhor resultado, pois teve como erro médio valores em torno de 9 metros.

A definição do modelo de  $RSSI \times d$  e posteriormente a modelagem do erro permitiu chegar a um modelo que simulasse as leituras do erro relativo, sendo utilizado para obtenção das distâncias estimadas entre a *tag* e os *readers*, que foram os dados utilizados para o posicionamento do soldado fuzileiro.

Para o cálculo do posicionamento foram usadas soluções por MMQ e MMQP. Com o uso da abordagem de seleção das menores leituras de distância estimada, pode-se concluir que três receptores, sendo escolhidos num contexto de oito possíveis, foi a alternativa que apresentou os melhores resultados para este estudo. Além do erro médio, o valor para R90 encontrado neste caso foi significativamente mais baixo: 32 metros da posição relativa de um soldado em relação ao veículo blindado com 90% de probabilidade de posicionamento dentro deste valor de raio.

Ao final desta pesquisa considera-se que o objetivo de simulação proposto foi atingido parcialmente. Através da análise dos resultados de simulação, considerando a posição estimada com os dados gerados pelo método de estimação de distâncias, pôde-se concluir que o uso do RFID para posicionamento de soldados no teatro de operações é uma opção viável de ser implementada.

## 5.2 TRABALHOS FUTUROS

Abaixo estão elencadas as possibilidades de prosseguimento de pesquisa consideradas como as mais relevantes:

- Estipular pesos para cada conjunto de dados levando em consideração as precisões de cada um deles, com o uso do filtro de Kalman;
- Analisar o modelo  $RSSI \times d$  (EQ. 18) para *readers* móveis e *tags* em movimento, modelando-se o deslocamento dos veículos blindados e dos soldados fuzileiros, sendo os dados de posicionamento dos veículos blindados fornecidos de acordo com o modelo DGPS correspondente com o teatro de operações do contexto FT;

- Estudar as características técnicas para um equipamento RFID que atenda os requisitos táticos necessários para obtenção de dados de posicionamento no contexto de emprego de uma FT;

- Estudar uma *tag* RFID que atenda a condições de posicionamento, com um modelo de antena específico para o uso em capacetes balísticos, amplificadores de sinal mais potentes acionados quando requisitados pelo *reader* (GOMES, 2007), possibilidade do uso de fontes alternativas de energia, além de poder acoplar dispositivos para leitura dos sinais vitais (frequência cardíaca, frequência respiratória, pressão arterial sistêmica e temperatura corporal), bem como, acelerômetros, pedômetros, contadores de munição e sensores de presença;

- Estudar as características necessárias para o desenvolvimento de um “*middleware*” específico para o acoplamento dos dados de posicionamento RFID no contexto de processamento distribuído no âmbito do pelotão FT ou mesmo para a subunidade FT, possibilitando que o sistema faça uso das informações obtidas de todas as *tags* e *readers*, em atividade no sistema, para geração de dados de posicionamento ou mesmo relatório de deslocamento no teatro de operações de cada soldado observado ou objeto de interesse.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANANIAH ELETRONICS. **Especificações técnicas do reader RFID RF8315R e tag RF40315T**. Disponível: <http://www.ananiahelectronics.com/> [capturado em 01 jan. 2012].

BHATIA, A., MEHTA, B., GUPTA, R. (2009) **Different localization techniques for real time location sensing using passive RFID**. Disponível em: <http://kict.iium.edu.my/integ/docs/LocalizationTechniques.pdf>.

BOLIC, Miodrag, SIMPLOT-RYL, David, STOJMENOVIC, Ivan. **RFID systems: research trends and challenges**, 1. ed. University of Ottawa. Canada. 2010. 577 p. ISBN 978-0-470-74602-8.

BOUET, M; SANTOS, A.L. (2008) **RFID tags: Positioning principles and localization techniques**, in Proc.IFIP Wireless Days 2008 , Nov. Disponível em: <http://www.nr2.ufpr.br/papers/RFIDTags08.pdf>.

BRASIL(1). . Estado Maior do Exército. **Manual de campanha c17-20: Forças-tarefas blindadas**. Brasília, DF: Exército Brasileiro, 2002. 380p.

BRASIL(2). . Estado Maior do Exército. **Manual de campanha C17-11: Força-tarefa subunidade blindada**. Brasília, DF: Exército Brasileiro, 2005. 257p.

BRASIL(3). . Estado Maior do Exército. **Manual de campanha C2-20: Regimento de cavalaria mecanizado**. Brasília, DF: Exército Brasileiro, 2002. 432p

BRASIL(4). . Estado Maior do Exército. **Manual de campanha C7-20: Batalhões de infantaria**. Brasília, DF: Exército Brasileiro, 2003. 615p

BRASIL(5). . Estado Maior do Exército. **Manual de campanha C2-1: Emprego da cavalaria**, DF: Exército Brasileiro, 1999. 119p

BRASIL(6). . Estado Maior do Exército. Publicação da Escola de Aperfeiçoamento de Capitães, Pub 101-0-1: **Dados médios de planejamento, DAMEPLAN**. Rio de Janeiro, RJ: Exército Brasileiro, 2006. 122p

BRASIL(7). . Lei n. 6.703, de 18 de dezembro de 2008. Aprova a **Estratégia nacional de defesa**, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2008.

BRASIL(8). . Estado Maior do Exército. **Manual de campanha C24-17: Centro de comunicações**. Brasília, DF: Exército Brasileiro, 2001. 61p.

CASTRO, Therezinha de. Geopolítica: **Princípios, meios e fins**. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 1999.

CHANG, A.C., CHUNG, C.M. **Covariance shaping least-squares location estimation using TOA measurements**, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences 2007 E90-A(3), pp. 691 - 693.

DEL RIO, E. S. L. **Integração com alvos móveis**. Projeto de Fim de Curso, Instituto Militar de Engenharia, 2010.

DoD (DEPARTMENT OF DEFENSE), **Dictionary of military and associated terms**, Joint Publication 1-02, 2010. (As Amended Through 15 November 2011).

FINKENZELLER, Klaus. **RFID handbook, fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication**. 3. ed. John Wiley & Sons Ltd. United Kingdom. 2010. 480p. ISBN-13: 978-0470-695067. Disponível: [http://www.rfid-handbook.de/downloads/E2E\\_chapter03-rfid-handbook.pdf](http://www.rfid-handbook.de/downloads/E2E_chapter03-rfid-handbook.pdf). [capturado em 26 nov. 2010].

GILLISPIE, Charles Coulston. **Dictionary of scientific biography**. Bibliografia de cientistas. New York : Scribner, (1970 -1990).

GLOVER, Bill, BHATT, Himanshu. **RFID essentials (Theory in practice)**. 1 ed. Published by O'Reilly Media, 2006. 227 p. ISBN 978-0-596-00944-1.

GOMES, Hugo Miguel Cravo. **Construção de um sistema de RFID com fins de localização especiais**. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2007. Disponível: [http://www.av.it.pt/nbcarvalho/docs/msc\\_hcg.pdf](http://www.av.it.pt/nbcarvalho/docs/msc_hcg.pdf). [capturado em 26 nov. 2010].

GUIMARÃES Alberto, GRIVET, Marco Antonio. **Rádio-localização de terminais de comunicação móveis**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2004.

HIGHTOWER, Jeffrey, BORRIELLO, Gaetano. **A Survey and Taxonomy of Location Systems For Ubiquitous Computing**. Computer Science and

**Engineering.** University of Washington. Seattle, WA, 2001. Disponível em: <http://www.csd.uoc.gr/~hy439/lectures11/hightower2001survey.pdf>. [capturado em 27 fev. 2012].

HUANG, Xin, JANASWAMY, Ramakrishna, GANZ, Aura. **Outdoor localization using active RFID technology.** Department of Electrical and Computer Engineering University of Massachusetts Amherst, MA, 2006.

INGRAM, S.J., HARMER, D., QUINLAN, M. (2004) **Ultra wideband indoor positioning system and their use in emergencies**, in Proc. IEEE Position Location and Navigation Symp., Monterey, CA, April, pp. 706–715.

KAILATH, T.. **Linear systems.** 1 ed. Prentice-Hall-Inc. EUA. 1980. 682 p. ISBN-13: 978-0135369616.

KO, Chien-Ho. **RFID 3D location sensing algorithms.** National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan, 2010. Automation in Cosntruction. Volume 19, Issue 5, August 2010, Pages 588-595.

KONG, H., KWON, Y. SUNG, T. (2004) **Comparisons of TDOA triangulation solutions for indoor positioning**, in: Papers presented at the 2004 International Symposium on GNSS, Sydney, Australia, 6-8 December,2004, 11 pgs.

LAAD, **Latin america aero defense** (2011) Disponível: [http://www.exercito.gov.br/web/guest/noticias3;jsessionid=A8E2E21EEA19BA7D6F522A621F914A0E.lr1?p\\_p\\_id=noticias\\_WAR\\_noticiasportlet\\_INSTANCE\\_3Nxr&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column\\_3&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_noticias\\_WAR\\_noticiasportlet\\_INSTANCE\\_3Nxr\\_journalArticleId=524767&\\_noticias\\_WAR\\_noticiasportlet\\_INSTANCE\\_3Nxr\\_struts.portlet.action=%2Fview%2Farquivo!viewJournalArticle&\\_noticias\\_WAR\\_noticiasportlet\\_INSTANCE\\_3Nxr\\_struts.portlet.mode=view](http://www.exercito.gov.br/web/guest/noticias3;jsessionid=A8E2E21EEA19BA7D6F522A621F914A0E.lr1?p_p_id=noticias_WAR_noticiasportlet_INSTANCE_3Nxr&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column_3&p_p_col_count=1&_noticias_WAR_noticiasportlet_INSTANCE_3Nxr_journalArticleId=524767&_noticias_WAR_noticiasportlet_INSTANCE_3Nxr_struts.portlet.action=%2Fview%2Farquivo!viewJournalArticle&_noticias_WAR_noticiasportlet_INSTANCE_3Nxr_struts.portlet.mode=view). [capturado em 01 dez. 2012].

LANDT, Jeremy. **Shrouds of time: The history of RFID.** Uma Publicação da Association for Automatic Identification and Data Capture Technologies, AIM. Pittsburgh, PA, USA, 2001.

LIMA, Eliomar Araújo de. **Sistemas para localização de pessoas e objetos em ambientes indoor.** Pontifícia Universidade Católica do Rio De Janeiro, 2001. Disponível:<http://www.di.inf.pucio.br/~endler/courses/móBILE/monografias/01/eliomar-caching.doc>. [capturado em 26 nov. 2010].

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS:** Descrição, Fundamentos e Aplicações. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2007. 476p. ISBN 978-85-7139-788-0.

- OKTEM, R., AYDIN, E., CAGILTAY, N. (2008) **An RFID based location finding and tracking with guidance**, in Proc. Int. Conf. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), Oct., pp. 1–4.
- PARET, Dominique. **RFID at ultra and super high frequencies : Theory and application** . 1. ed. John Wiley & Sons Ltd. United Kingdom. 2009. 527p. ISBN 978-0-470-03414-9 (cloth).
- RFICAMP. **Controlando o RFID**. Disponível: <http://www.rficamp.com/contents.asp?id=product&seq=301> . [capturado em 01 jan. 2012].
- SANPECHUDA, T.; KOVAVISARUCH, L. **A review of RFID localization: applications and techniques**, in Proc. Int. Conf. Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2, pp. 769–772, May, 2008.
- SANTOS, Leonardo Macedo dos. **Contribuição do uso da RFID na cadeia de suprimentos: aplicação na distribuição de Pára-quedas**. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2006. Disponível: [http://www.eceme.ensino.eb.br/portallee/arquivos/ciencia\\_e\\_tecnologia\\_no\\_brasil\\_e\\_no\\_exercito\\_brasileiro\\_cel\\_sampaio.pdf](http://www.eceme.ensino.eb.br/portallee/arquivos/ciencia_e_tecnologia_no_brasil_e_no_exercito_brasileiro_cel_sampaio.pdf). [capturado em 26 nov. 2010].
- SAYED, A.H., TARUGHAT, A., KHAJEHNOURI, N. **Network-based wireless location**, IEEE Signal Processing Magazine, 22(4): 24 – 40, 2005.
- SEEBER, Günter. **Satellite geodesy - Foundations, methods and applications. de gruyter**. 2 ed. Publisher Walter de Gruyter. Berlin. 2003. 600 p. ISBN-13: 978-3110175493.
- SWEENEY, Patrick J. **RFID for dummies**. 1 edition ( Abril 2005), 408pIMG\_. Publisher For Dummies. ISBN-10 076457910X, ISBN-13 978-0764579103
- ZHOU, J.; SHI, J. (2008) **RFID Localization algorithms and applications – A review, journal of intelligent manufacturing**, Journal of Intelligent Manufacturing, Publisher Springer Netherlands, Fargo. North Dakota, USA. 2008. ISSN 0956-5515, DOI:10.1007/s10845-008-0158-5.