



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Uma Arquitetura para o uso de Sistemas de Localização Outdoor e Indoor por meio de Dispositivos Móveis

Webert Vieira Arantes

Orientando

Edgard A. Lamounier Júnior, PhD

Orientador

UBERLÂNDIA- MINAS GERAIS

DEZEMBRO DE 2018

WEBERT VIEIRA ARANTES

Uma Arquitetura para o uso de Sistemas de Localização Outdoor e Indoor por meio de Dispositivos Móveis

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Processamento da Informação

Linha de Pesquisa: Computação Gráfica

UBERLÂNDIA- MINAS GERAIS
DEZEMBRO DE 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

A662a Arantes, Webert Vieira, 1965-
2018 Uma arquitetura para o uso de sistemas de localização outdoor e
indoor por meio de dispositivos móveis [recurso eletrônico] / Webert
Vieira Arantes. - 2018.

Orientador: Edgard Afonso Lamounier Júnior.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.302>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Engenharia elétrica. 2. Sistemas de posicionamento em ambientes
fechados. 3. Realidade aumentada. 4. Sistema de Posicionamento Global.
I. Lamounier Júnior, Edgard Afonso, 1964- (Orient.) II. Universidade
Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica. III. Título.

CDU: 621.3

Maria Salete de Freitas Pinheiro - CRB6/1262

UMA ARQUITETURA PARA O USO DE SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO OUTDOOR E INDOOR POR MEIO DE
DISPOSITIVOS MÓVEIS

Webert Vieira Arantes

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Ciências e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Aprovada em 14/12/2018

Banca Examinadora:

Edgard A. Lamounier Júnior, PhD (UFU) - Orientador

Keiji Yamanaka, PhD (UFU)

Luciano Coutinho Gomes, Dr. (UFU)

Jose Remo Ferreira Brega, Dr. (UNESP)

Luciano Silva, Dr. (MACKENZIE)

UBERLÂNDIA- MINAS GERAIS

DEZEMBRO DE 2018

AGRADECIMENTOS

A minha esposa Ivana e aos meus filhos Victor, Igor e Lucas, pelo apoio incondicional que me deram e pela paciência de aguentar os meus muitos momentos de mau humor devido às dificuldades que enfrentamos juntos.

Aos meus pais, irmãos e irmãs, pelo incentivo de sempre seguir em frente independente dos desafios enfrentados.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edgard Lamounier, pela grande compreensão e paciência que mostrou nos momentos que mais precisei durante essa fase da minha vida.

Aos colegas e amigos que, através de conversas e discussões, inspiram as ideias e melhorias que eu tanto necessitava.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro que possibilitou a finalização deste trabalho.

Finalmente, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta, para a conclusão deste trabalho.

ARANTES, Weibert Vieira. **UMA ARQUITETURA PARA O USO DE SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO OUTDOOR E INDOOR POR MEIO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS**. Tese de Doutorado. Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica–UFU, 2018.

RESUMO

Hoje, várias tecnologias que visualizam informações de posições geográficas estão disponíveis para diferentes campos de aplicação. Essas informações são especialmente úteis quando utilizadas em edificações, tais como shopping centers, aeroportos, hospitais, supermercados e escritórios, pois permitem uma maior rapidez na localização de pessoas e pontos de interesse. A precisão dessas tecnologias pode variar de vários metros, até alguns centímetros. Ao ar livre, sistemas que utilizam GPS já provaram a sua adequação no uso diário. Porém, em áreas específicas, como nos chamados cânions urbanos e no interior de construções, esses sistemas não são confiáveis, ou no pior dos casos, não funcionam.

Na tentativa de minimizar a limitação encontrada no uso do GPS, encontram-se várias abordagens que propõem determinar a localização de pessoas em locais fechados. Essas abordagens, na sua maioria, fazem uso de uma infraestrutura adicional que disponibiliza recursos óticos, acústicos ou de rádio frequência. Além disso, no que se refere a dispositivos móveis, os trabalhos que utilizam essas abordagens não discutem, prioritariamente, a arquitetura utilizada para a sua implementação, o que dificulta a sua experimentação.

Utilizando somente o hardware sensorial integrado em dispositivos móveis e estruturas de dados que representam possíveis percursos em ambientes internos, o presente trabalho apresenta uma arquitetura para o desenvolvimento de sistemas que permitam a troca de informações de localização entre os participantes de uma rede de contatos cadastrada pelo usuário. Além disso, o sistema permite a exibição em mapa digital e Realidade Aumentada a localização dessas pessoas, independente do espaço onde se encontrem. Para compensar os erros incrementais, inerentes aos sistemas de navegação estimada, é utilizado um algoritmo baseado no tratamento de séries temporais conhecido como *Dynamic Time Warping* (DTW). A solução sugerida pode ser implementada para ambientes externos, internos ou ambos, sem a necessidade da instalação de uma infraestrutura suplementar.

Palavras-Chave: Sistemas de Localização, Sistemas de Navegação Inercial, Realidade Aumentada, Aplicação para dispositivos móveis.

AN ARCHITECTURE FOR THE USE OF OUTDOOR AND INDOOR LOCATION SYSTEMS THROUGH MOBILE DEVICES. DSc. Thesis. Uberlândia, Faculty of Electrical Engineering–UFU, 2018.

ABSTRACT

Today, various technologies that visualize information from geographic positions are available for different fields of application. This information is especially useful when used in buildings such as shopping malls, airports, hospitals, supermarkets and offices, as they allow for faster localization of people and points of interest. The accuracy of these technologies can range from several meters up to a few centimeters. Outdoors, systems that use GPS have already proved their suitability in everyday use. However, in specific areas, such as the so-called urban canyons and the interior of buildings, these systems are unreliable, or at worst, do not work.

In an attempt to minimize the limitations found in the use of GPS, several approaches propose to determine the location of people indoors. These approaches, for the most part, make use of an additional infrastructure that provides optical, acoustic or radio frequency resources. In addition, for mobile devices, work using such approaches does not primarily discuss the architecture used for its implementation, which makes its experimentation difficult.

By only using sensory hardware integrated in mobile devices and data structures that represent possible routes in internal environments, the present work proposes an architecture for the development of systems that allow the exchange of location information among the participants of a network of contacts. In addition, the system allows displaying in digital map and Augmented Reality the location of these people, regardless of the space where they are. To compensate for the incremental errors inherent to the estimated navigation systems, a time series treatment algorithm known as Dynamic Time Warping (DTW) is used. The suggested solution can be implemented for external, internal, or both, without the need for the installation of a supplementary infrastructure.

Keyword: Localization Systems, Inertial Navigation System, Augmented Reality, Mobile Applications.

SUMÁRIO

1. Introdução	14
1.1. Motivação	14
1.2. Objetivos e metas	16
1.3. Organização do trabalho	16
2. Fundamentos	18
2.1. Introdução	18
2.2. Sensores	18
2.2.1. Acelerômetro	19
2.2.2. Giroscópio	19
2.2.3. Magnetômetro	20
2.3. Realidade Aumentada	21
2.4. Tecnologias Associadas	26
2.4.1. Localização	26
2.4.2. Navegação	28
2.4.3. Distância DTW (Dynamic Time Warping)	29
2.4.4. Padrões de arquitetura	30
2.5. Consideração Final	31
3. Trabalhos Relacionados	32
3.1. Introdução	32
3.2. Trabalhos relacionados	32
3.2.1. Sistema híbrido de posicionamento	32
3.2.2. Ferramenta de navegação baseada em Realidade Aumentada	34
3.2.3. Localização em interiores por RA usando câmeras distribuídas	35
3.2.4. Navegação em interiores usando RA e características do ambiente	36
3.2.5. AnDReck	37
3.2.6. Previsão da navegação em ambientes fechados	39
3.2.7. RoomSense	40
3.2.8. Posicionamento em ambientes fechados por combinação de sensores	41
3.2.9. Navegação em Realidade Aumentada	43
3.2.10. Sistema baseado em Fingerprint	43
3.3. Estudo comparativo dos trabalhos relacionados	43

3.4.	Competição de localização em ambientes fechados	45
3.5.	Considerações finais	47
4.	Arquitetura e Desenvolvimento do Aplicativo.....	48
4.1.	Introdução	48
4.2.	Requisitos funcionais (FR)	48
4.3.	Requisitos não funcionais (NFR)	49
4.4.	Descrição do sistema	49
4.5.	Design do sistema.....	50
4.5.1.	View	50
4.5.2.	Presenter	52
4.5.3.	Model.....	53
4.6.	Considerações Finais.....	55
5.	Re:for.me - Detalhes de Implementação.....	56
5.1.	Introdução	56
5.2.	Estrutura de arquivos	58
5.3.	Abordagem para ambiente externo.....	59
5.4.	Coleta de dados dos sensores	60
5.5.	Abordagem para ambiente interno (indoor)	61
5.5.1.	Coleta de um bloco de dados	61
5.5.2.	Contagem de passos.....	61
5.5.3.	Estimativa do tamanho do passo.....	66
5.5.4.	Definição da direção do deslocamento	66
5.5.5.	Aplicação da técnica Path Similar	67
5.6.	Realidade Aumentada	69
5.7.	Considerações Finais.....	69
6.	Resultados e Discussão	73
6.1.	Introdução	73
6.2.	Re:for.me - Estudo de caso das funcionalidades.....	73
6.3.	Re:for.me - Estudo de caso de coleta de dados	80
6.3.1.	Testes com os sensores inerciais	83
6.4.	Considerações Finais.....	87

7.	<i>Conclusões e Trabalhos futuros</i>	88
7.1.	Introdução	88
7.2.	Conclusões	88
7.3.	Trabalhos Futuros	90
8.	<i>Referências Bibliográficas</i>	92
9.	<i>Descrição do aplicativo</i>	103

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1 - (a) Queda livre (gravidade neutralizada), (b) Somente a gravidade atuando, (c) atuação da gravidade + aceleração lateral.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2 - Visão ótica direta.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3 - Visão direta por vídeo.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4 - Visão por vídeo baseado em monitores.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 5 - Exemplo de correspondência Euclidiana e DTW aplicada às mesmas séries temporais.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 6 - Padrão Arquitetural MVP.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 7 - A linha vermelha mostra a localização estimada pelo sistema e a linha azul é a rota de referência [P. KEMPPPI, 2010].</i>	<i>33</i>
<i>Figura 8 - Percurso obtido na utilização do algoritmo PDR (Pedestrian Dead Reckoning) [KEMPPPI, 2010].</i>	<i>33</i>
<i>Figura 9 - Sinais direcionais apresentados pelo sistema [HUEY, 2011].</i>	<i>34</i>
<i>Figura 10 - Imagem da câmera grande angular [MENG-YUAN, 2012].</i>	<i>35</i>
<i>Figura 11 - Posição inferida pelo sistema [MENG-YUAN HSIEH, 2012].</i>	<i>36</i>
<i>Figura 12 - Digitalizando as características do ambiente [S. KASPRZAK, 2013].</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13 - Seta direcional sendo apresentada no SRA [KASPRZAK, 2013].</i>	<i>37</i>
<i>Figura 14 - Exemplo de picos candidatos a serem passos em um sinal de aceleração [SIMÕES, 2013].</i>	<i>38</i>
<i>Figura 15 - Componentes e informações do fluxo do modulo que estima o posicionamento [SIMÕES, 2013].</i>	<i>38</i>
<i>Figura 16 - Arquitetura do Sistema de Localização [MENEGUZZI, 2013].</i>	<i>39</i>
<i>Figura 17 - Arquitetura dos principais componentes do sistema [ROSSI, 2013].</i>	<i>41</i>
<i>Figura 18 - Posição estimada aplicando diferentes algoritmos [KARLSSON, 2015].</i>	<i>42</i>
<i>Figura 19 - Componente MVP-View com o fluxo de dados entre os subsistemas User Interface e Augmented Reality.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 20 - Subsistemas (a) User Interface e (b) Augmented Reality com as seus respectivos pacotes e objetos.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 21 - Componente MVP-Presenter com o seu subsistema e objetos.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 22 - Componente MVP-Model com o fluxo de dados entre os subsistemas (a) Data Collect and Analyze, (b) Signal Translator, (c) Activity Recognition, (d) Positioning, (e) Database e (f) Communication.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 23 - Fluxo de atualização da localização do usuário.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 24 - Organização em pacotes do aplicativo Re:for.me.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 25 - Parte do arquivo de texto gerado na coleta de dados dos sensores.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 26 - Fluxo para estimar a localização com o PDR.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 27 - Screenshots do aplicativo Re:for.me onde é apresentado o gráfico temporal (ms) do eixo Z do sensor Accelerometer (m/s²) em coordenada absoluta.....</i>	<i>63</i>

<i>Figura 28 - Screenshots do aplicativo Re:for.me onde é apresentado o gráfico temporal (ms) do eixo Z do sensor Linear Accelerometer (m/s^2) em coordenada absoluta juntamente com a detecção dos picos (linhas amarelas com marca em verde) e dos passos (linhas em magenta com círculos vermelhos).</i>	<i>65</i>
<i>Figura 29 - Screenshots do aplicativo Re:for.me onde é possível comparar os resultados obtidos pelo GPS (X em azul), sensores inerciais (círculos verdes) e a abordagem Path Similar (esferas douradas), ao se caminhar em torno de um quarteirão. O ponto em vermelho registra o início do deslocamento.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 30 - Representação gráfica dos vetores do mapa de caminho e de um vetor resultante para um usuário em movimento. O resultado esperado na aplicação do algoritmo DTW seria o caminho 3.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 31 - Arquitetura do aplicativo de Realidade Aumentada.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 32 - Responsabilidades e dependências do pacote Shell.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 33 - Responsabilidades e dependências do pacote VirtualWorld.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 34 - Responsabilidades e dependências do pacote GraphicalLibrary.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 35 - Responsabilidades e dependências do pacote Utilities.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 36 - Apresentação do usuário e contatos no mapa digital.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 37 - Pedido de posição (esquerda) e envio manual de posição (direita).</i>	<i>76</i>
<i>Figura 38 - Sistema de Realidade Aumentada em funcionamento no Re:for.me.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 39 - Participante da avaliação do PDR e técnica Path Similar com o algoritmo DTW. Os destaques mostram a posição dos dispositivos usados e as marcas de distância usadas nas avaliações.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 40 - Screenshots em Realidade Aumentada do aplicativo Re:for.me em ambiente fechado. O grid mostrado é apenas um elemento gráfico para facilitar o alinhamento do dispositivo com a imagem da câmera. As molduras com as fotos representam a direção onde se encontra o contato selecionado e pontos de interesse.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 41 - Screenshots do aplicativo Re:for.me onde é possível visualizar os dados obtidos dos sensores inerciais (círculos verdes) e a aplicação da abordagem Path Similar (esferas douradas) em um ambiente interno. O ponto em vermelho registra o início do deslocamento e o pontilhado cinza o mapa de caminhos.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 42 - Esq.: Sistema de coordenadas do dispositivo (coordenada relativa), Dir.: Sistema de coordenadas global (coordenada absoluta).</i>	<i>81</i>
<i>Figura 43 - Aceleração Linear nas coordenadas relativa (esq.) e absoluta (dir.)</i>	<i>84</i>
<i>Figura 44 - Gravidade nas coordenadas relativa (esq.) e absoluta (dir.)</i>	<i>84</i>
<i>Figura 45 - Magnetômetro nas coordenadas relativa (esq.) e absoluta (dir.)</i>	<i>85</i>
<i>Figura 46 - Giroscópio nas coordenadas relativa (esq.) e absoluta (dir.)</i>	<i>86</i>
<i>Figura 47 – Orientação obtida pelo sensor sintético (esq.) e calculada através de modelos matemáticos (dir.) .</i>	<i>87</i>
<i>Figura 48 - Tela de abertura do aplicativo Re:for.me.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 49 - Tela principal do Re:for.me.</i>	<i>104</i>
<i>Figura 50 - Cadastro de usuário e contatos.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 51 - Coleta e análise dos dados dos sensores.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 52 - Gráficos para análise dos dados dos sensores.</i>	<i>108</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Comparação entre os trabalhos relacionados</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 2 - Resultado da Microsoft Indoor Localization Competition [Lymberopoulos, 2015].....</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 3 - Participantes da avaliação da estratégia usada em ambiente outdoor (GPS e troca de informações)</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 4 - Participantes da avaliação da estratégia usada em ambiente indoor (uso do PDR, DTW E Path Similar)</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 5 - Dispositivos Android usados e respectivos sensores.....</i>	<i>82</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

API	- <i>Application Programming Interface</i>
IPS	- <i>Indoor Positioning Systems</i>
GPS	- <i>Global Positioning System</i>
DTW	- <i>Dynamic Time Warping</i>
MEMS	- <i>Micro-Electro-Mechanical Systems</i>
RA	- Realidade Aumentada
SRA	- Sistema de Realidade Aumentada
HMD	- <i>Head-Mounted Displays</i>
RFID	- <i>Radio frequency identification</i>
IrDA	- <i>Infrared Data Association</i>
IMU	- <i>Inertial Measurement Unit</i>
GLONASS	- <i>Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i>
INS	- <i>Inertial Navigation System</i>
PDR	- <i>Pedestrian Dead Reckoning</i>
MVP	- <i>Model View Presenter</i>
SMS	- <i>Short Message Service</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1. Motivação

Hoje é cada vez mais comum a utilização de sistemas de localização implementados em dispositivos móveis (ou smartphones). Algumas empresas já disponibilizam, gratuitamente, aplicativos para esse fim, o que facilita a sua disseminação. Esses sistemas já comprovaram a sua utilidade e vêm cada vez mais fazendo parte do dia a dia das pessoas. Porém, a utilização desses aplicativos em ambientes fechados é limitada pela sua dependência ao GPS. As soluções alternativas, na sua maioria, necessitam da instalação de equipamentos distribuídos pelo ambiente, o que muitas vezes inviabiliza o seu desenvolvimento [LYMBEROPOULOS, 2015] [LYMBEROPOULOS, 2017].

Nos Sistemas de Posicionamento em Ambientes Fechados (IPS - *Indoor Positioning Systems*) desenvolvidos utilizando somente os equipamentos disponíveis nos smartphones, os dados fornecidos pelos sensores do dispositivo (magnetômetro, acelerômetro, giroscópio, etc.) são as fontes de recursos para a realização dos cálculos necessários na obtenção da localização. Entretanto, devido a influência de ruídos no ambiente, magnéticos principalmente, os dados fornecidos por alguns sensores podem muitas vezes conter imprecisões, o que acaba gerando erros nos resultados dos cálculos que os utilizam. Assim, são necessárias estratégias adicionais, como métodos de calibragem, para fazer as devidas correções [MILETTE, 2012].

Atualmente, existem IPS com diferentes custos de implementação e diferentes benefícios. Para que haja compatibilidade entre os sistemas e para incentivar a interoperabilidade entre os produtos, esses sistemas são regidos por normas internacionais que estabelecem parâmetros que devem ser seguidos. A norma ISO/IEC 24730 discute sobre sistemas de localização que obtém resultados muito rápidos, em tempos próximos do

instantâneo. Essa norma também estabelece a precisão que esses sistemas devem possuir em diferentes situações. Nos ambientes fechados, em se tratando de precisão, os sistemas existentes não conseguem cumprir plenamente a norma ISO/IEC 24730. Nem todas as situações propostas conseguem ser satisfeitas, como por exemplo em áreas consideradas os “pontos cegos” dos equipamentos utilizados. Além disso, pelo fato de em sua maioria, dependerem de equipamentos adicionais instalados nos ambientes, esses sistemas necessitam de manutenção constante por parte dos estabelecimentos que os usam. Sendo assim, a precisão e manutenção são os principais motivos para ainda não existir um padrão para esse tipo de projeto [LYMBERPOULOS, 2015] [LYMBERPOULOS, 2017]. Entre as empresas desenvolvedoras desses sistemas pode-se destacar a Google, Nokia, Microsoft e a Apple, cujos sistemas são baseados na instalação de equipamentos externos (Wi-Fi e Bluetooth), e cuja apresentação dos resultados obtidos é feita em mapas digitais mostrados nos smartphones [LYMBERPOULOS, 2015] [LYMBERPOULOS, 2017].

Hoje, a difusão do uso dos smartphones, a sua capacidade de processamento e a facilidade de captura e exibição de imagens que eles proporcionam, tornaram esses dispositivos uma das principais escolhas para o desenvolvimento de aplicativos que utilizam técnicas de Realidade Aumentada [PEDDIE, 2017]. Conhecida como uma interface avançada, a Realidade Aumentada é uma linha de pesquisa que investiga a integração de elementos virtuais ao mundo real e permite a interação com esses elementos virtuais de forma intuitiva e natural [ALAN, 2013]. Para que a visualização dos elementos virtuais ocorra corretamente é preciso que esses estejam alinhados ao ambiente onde são apresentados, ou seja, é necessário o conhecimento da localização do usuário no mundo real para que sejam feitos os cálculos de posicionamento dos objetos virtuais [ALAN, 2013], [PEDDIE, 2017].

Sendo assim, é possível afirmar que uma estratégia que facilite o desenvolvimento de aplicativos em smartphones que utilizem Sistemas de Localização para ambientes externos e internos, com a apresentação dos resultados obtidos usando mapas digitais e Realidade Aumentada pode contribuir com desenvolvimento das áreas envolvidas.

1.2. Objetivos e metas

Os objetivos apresentados nessa tese são: propor uma estratégia para a criação, em dispositivos móveis, de Sistemas de Localização que utilizam Realidade Aumentada, sendo que esses sistemas abranjam tanto a localização em ambientes fechados como a localização ao ar livre sem a necessidade de instalação de estruturas adicionais nesses ambientes.

Para atingir os objetivos desejados as seguintes metas foram definidas:

- Identificar trabalhos relacionados a fim de apresentar as limitações existentes nos sistemas atuais e relações com a estratégia proposta;
- Investigar a Realidade Aumentada em dispositivos móveis;
- Identificar potenciais tecnologias para serem usadas como suporte no desenvolvimento da estratégia;
- Apresentar uma arquitetura para o desenvolvimento de aplicativos que utilizem Sistemas de Localização e Realidade Aumentada;
- Desenvolver instrumentos que permitam a coleta e análise dos dados fornecidos por um dispositivo móvel, para posterior aplicação no aprimoramento de Sistemas de Localização que utilizem sensores inerciais;
- Apresentar um aplicativo funcional que utilize a estratégia proposta; e
- Validar o sistema proposto por meio do uso, em situações reais, do aplicativo desenvolvido e apresentar os resultados e conclusões conseguidos.

1.3. Organização do trabalho

Esta tese organiza-se em sete capítulos apresentados resumidamente a seguir:

- Capítulo 1 – Introdução: Contextualiza o tema abordado e discute a motivação, os objetivos e metas da pesquisa;

- Capítulo 2 – Fundamentos: Aborda os conceitos, tecnologias correlatas e vários aspectos sobre: Realidade Aumentada, localização, navegação, sensores inerciais, distância DTW e padrões arquiteturais;
- Capítulo 3 – Trabalhos Relacionados: Aborda trabalhos relacionados ao tema de forma a possibilitar uma análise sobre as limitações dos Sistemas e sua relação com a presente pesquisa;
- Capítulo 4 – Arquitetura e Desenvolvimento do Aplicativo: Descreve a estratégia proposta e apresenta as abordagens utilizadas na implementação do sistema;
- Capítulo 5 – Re:for.me - Detalhes de Implementação: Descreve o aplicativo desenvolvido através do emprego da estratégia proposta;
- Capítulo 6 – Resultados e Discussão: Apresenta o resultado da avaliação exploratória realização com voluntários no uso do aplicativo desenvolvido; e
- Capítulo 7 – Conclusões e Trabalhos Futuros: Apresenta as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentos

2.1. Introdução

Em geral, na localização em ambientes externos o GPS é o sistema de posicionamento mais utilizado e já é aceito como padrão nos aplicativos desenvolvidos em smartphones. Mas em espaços internos o GPS tende a falhar, devido a degradação do sinal do satélite. Com a finalidade de minimizar esse problema foram adotados nesse trabalho os conceitos de Navegação Inercial trabalhando em conjunto com o GPS. Na Navegação Inercial, os dados coletados dos sensores (acelerômetro, giroscópio e magnetômetro) são usados para inferir a localização do dispositivo através do uso de métodos de navegação estimada (*Dead Reckoning*). O capítulo 5, item 5.4, explica com detalhes a coleta dos dados dos sensores para a utilização nos cálculos da localização.

Para a correção dos resultados e para minimizar a propagação de erros gerados na aplicação da navegação estimada, foi desenvolvido e empregado um algoritmo de correspondência de caminhos (nomeado de *Path Similar*), onde o provável caminho é selecionado medindo as distâncias DTW entre os possíveis caminhos cadastrados a partir da planta arquitetônica do ambiente. O capítulo 5, item 5.4.5, explica com detalhes a utilização do algoritmo *Path Similar*.

Esse capítulo apresenta os principais conceitos envolvidos no desenvolvimento de Sistemas de Localização e Sistemas de Realidade Aumentada, bem como a utilização desses em dispositivos móveis.

2.2. Sensores

Sensores são dispositivos que mudam o comportamento quando submetidos a ação de uma grandeza física ou forma de energia, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. A tecnologia que integra elementos mecânicos, eletrônicos

e sensores em um chip de silício compõe os chamados Sistemas Microeletromecânicos (MEMS - *Micro-Electro-Mechanical Systems*). Sensores de dispositivos móveis, como o acelerômetro, o giroscópio e o magnetômetro, são feitos usando-se essa tecnologia [MILETTE, 2012].

2.2.1. Acelerômetro

O acelerômetro é um sensor que mede, em m/s^2 , a aceleração aplicada ao dispositivo, incluindo a força da gravidade. MEMS acelerômetros são compostos por minúsculas massas presas em pequenas molas e registram o efeito da aceleração ou desaceleração, quando o dispositivo é movimentado para cima, para baixo ou chacoalhado [MILETTE, 2012]. Quando uma força está atuando no dispositivo ocorre uma deformação nas molas e a força pode ser calculada, como ilustrado na Figura 1.

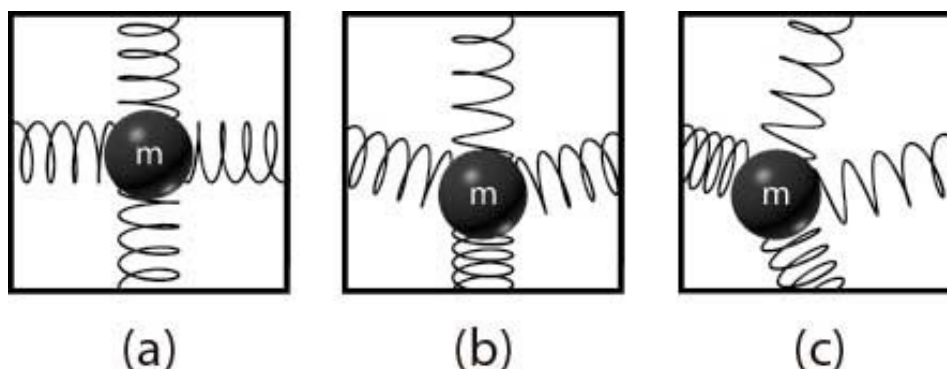


Figura 1 - (a) Queda livre (gravidade neutralizada), (b) Somente a gravidade atuando, (c) atuação da gravidade + aceleração lateral.

2.2.2. Giroscópio

O giroscópio é um sensor que mede a variação da rotação em rad/s , em torno dos eixos X, Y e Z. MEMS giroscópios também são compostos por minúsculas massas presas em pequenas molas. Mas, em vez de medir a aceleração, eles são projetados para medir uma força diferente – a força de Coriolis provocada pela rotação [MILETTE, 2012].

A força de Coriolis é a tendência de sair do curso que um objeto adquire quando observado de um referencial em rotação. Por exemplo, quando você está em um carrossel e rola uma bola para longe, a bola aparenta desviar-se de uma linha reta, como se houvesse

uma força agindo sobre ela. Essa força fictícia é chamada de força de Coriolis. Ela é considerada uma “força fictícia”, porque quando observada de um ponto de referência fora do carrossel, não aparenta existir uma força agindo sobre a bola. Ela é vista como se estivesse rolando em linha reta. A força de Coriolis atua apenas quando o dispositivo, onde o MEMS está instalado, está sendo submetido a um movimento de rotação. Portanto, o giroscópio mede a velocidade angular, ou seja, a velocidade que o dispositivo está girando [MILETTE, 2012].

Não é possível medir um ângulo diretamente através de um giroscópio. Para se obter o ângulo desejado, os valores obtidos pelo giroscópio são integrados ao longo do tempo. Porém, os ruídos e deslocamentos inerentes aos dados obtidos induzem a grandes erros no cálculo do ângulo. Assim, a partir de um segundo de utilização do giroscópio, se não forem feitas as correções necessárias, os resultados obtidos nos cálculos se tornam inúteis. Esses erros podem ser compensados usando-se as informações de outros sensores, como por exemplo o acelerômetro [MILETTE, 2012].

2.2.3. Magnetômetro

O magnetômetro é um sensor que mede a intensidade do campo magnético em microtesla, nos eixos X, Y, Z. A maioria dos sensores de campo magnéticos usam o efeito Hall como método de obtenção dos dados [MILETTE, 2012]. Nesse método, uma corrente elétrica é passada através de um fio, onde uma componente perpendicular do campo magnético faz com que os elétrons se concentrem mais em um lado do fio em relação ao outro, o que resulta em uma tensão ao longo do fio, cujo valor é proporcional à intensidade do campo magnético [MILETTE, 2012].

Atualmente, os MEMS para sensores de campo magnético possuem um alto nível de ruído e são muito sensíveis ao ambiente que os cerca, o que causa uma grande imprecisão nos dados obtidos [MILETTE, 2012].

2.3. Realidade Aumentada

Para uma melhor conceituação de Realidade Aumentada é necessário que algumas expressões básicas sejam definidas. Essas são importantes para o entendimento do processo de utilização e desenvolvimento de um Sistema de Realidade Aumentada. São elas:

- Mundo real: No contexto desse trabalho, mundo real é o conjunto de tudo aquilo que o ser humano percebe do ambiente físico, utilizando seus sentidos;
- Objetos reais: São todos os objetos que fazem parte do mundo real. Esses objetos possuem características como cor, tamanho e posicionamento espacial;
- Ambiente virtual: No contexto desse trabalho, ambiente virtual é todo espaço tridimensional artificial criado ou simulado por computador; e
- Objetos virtuais: São todos os elementos que compõem o ambiente virtual e que podem possuir características como cor, escala e coordenadas tridimensionais no ambiente virtual.

Quando objetos virtuais são incluídos no espaço do mundo real e apresentados ao usuário, em tempo real, por meio de dispositivos tecnológicos, ocorre a Realidade Aumentada [KIRNER, 2007].

Um Sistema de Realidade Aumentada (SRA) é, portanto, um conjunto de programas e dispositivos que adicionam objetos virtuais ao mundo real, permitindo interação com os mesmos. Esses objetos virtuais, gerados por computador, em tempo real, devem estar alinhados ao ambiente real, ao serem apresentados, ou seja, os objetos virtuais devem estar posicionados sobre a imagem do ambiente real de forma a fazer parecer que os mesmos coexistem no mesmo espaço do usuário.

Os SRA podem ser classificados de acordo com a forma de visualização usada para apresentar as imagens ao usuário, podendo ser de Visão Ótica Direta, Visão Direta por Vídeo, Sistema de Visão por Vídeo Baseado em Monitor e Visão Ótica por Projeção [AZUMA, 2001].

A Figura 2 apresenta um Sistema de Visão Ótica Direta. Nele, a projeção dos objetos virtuais é feita sobre uma lente transparente e inclinada. O usuário, através dessa lente,

consegue ver, ao mesmo tempo, o ambiente real e o reflexo da imagem do objeto virtual. Para isso, são utilizados óculos ou capacetes com um rastreador que possibilita a projeção da imagem dos objetos virtuais alinhados à cena real. O rastreador é a ferramenta responsável pelo alinhamento dos objetos virtuais sobre o ambiente observado [AZUMA, 2001].

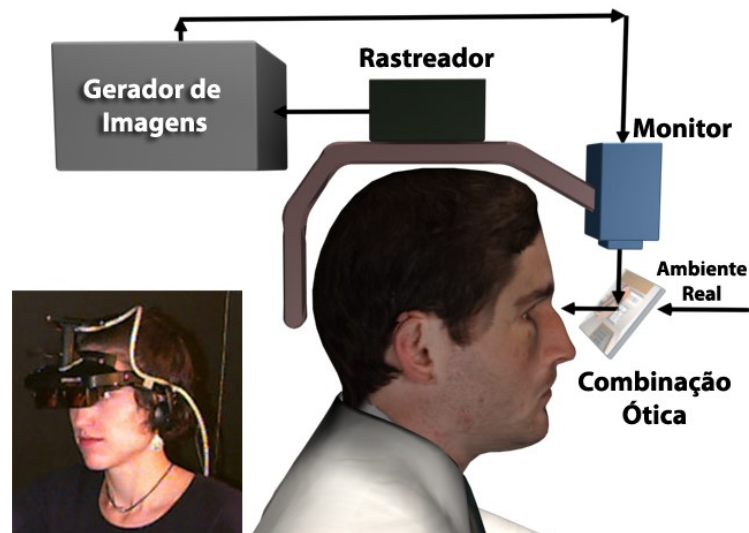


Figura 2 - Visão óptica direta.

A Figura 3 apresenta um Sistema de Visão Direta por Vídeo. Nele a imagem do mundo real juntamente com os objetos virtuais é apresentada ao usuário, por meio de monitores montados no equipamento a frente dos olhos. O equipamento usado possui uma câmera de vídeo acoplada que captura a imagem do mundo real. Posteriormente essa imagem é composta com os elementos virtuais gerados por computador e apresentada [AZUMA, 2001].



Figura 3 - Visão direta por vídeo.

O Sistema de Visão por Vídeo Baseado em Monitor alinha os objetos virtuais através da utilização de uma câmera instalada no computador para capturar a imagem da cena real. A cena final é apresentada em um monitor convencional. A Figura 4 ilustra o funcionamento desse sistema [AZUMA, 2001].



Figura 4 - Visão por vídeo baseado em monitores.

No Sistema de Visão Ótica por Projeção, a imagem do objeto virtual é projetada em uma superfície do ambiente real e visualizada pelo usuário sem a necessidade de

equipamento auxiliar. Esse sistema depende de uma superfície de projeção no espaço em que é usado e por isso é considerado um sistema restrito [AZUMA, 2001].

Outra maneira de classificar os SRAs, ainda com relação a forma de visualização, seria em sistemas com Visores Fixos, sistemas com Visores Vestíveis (*wearable devices*) e sistemas com Visores Moveis [ALAN, 2013].

Para usar um sistema com Visores Fixos, a pessoa tem que se deslocar até onde o sistema se encontra. A Figura 4 apresenta um sistema que usa o monitor de um computador de mesa como meio de visualização e se enquadra nessa categoria. Essa configuração poderia ser usada de várias formas como, por exemplo, em quiosques de informações equipados com um sistema de Realidade Aumentada. A pessoa apresenta um objeto para a webcam e elementos virtuais são apresentados na tela, permitindo que o usuário interaja com os mesmos.

Alguns SRAs usam monitores que são colocados à frente dos olhos da pessoa. Esses tipos de equipamentos são por vezes referidos como *Head-Mounted Displays* (HMD) e os sistemas que os usam se enquadram na categoria de sistemas vestíveis. As Figuras 2 e 3 seriam exemplos dessa categoria. É possível observar que na primeira são usados meios óticos para a pessoa visualizar o mundo real e na segunda é empregada uma tecnologia de vídeo para permitir a visualização.

A categoria de sistemas com visores moveis surgiu com a generalização do uso de smartphones [ALAN B., 2013]. Os visores são movidos livremente pelo usuário. Atualmente, esse é o tipo de exibição que mais prevalece em aplicativos de Realidade Aumentada, permitindo que o usuário mova a tela com as mãos para visualizar o ambiente à sua volta [ALAN, 2013], [PEDDIE, 2017].

No desenvolvimento de um Sistema de Realidade Aumentada um problema que se apresenta é o posicionamento dos objetos virtuais na composição da cena. Esses objetos virtuais devem ser colocados de tal forma que todo o ambiente apresentado se alinhe corretamente, isto é, os objetos virtuais parecerão fazerem parte do ambiente real. Um objeto desalinhado provocaria estranheza, pois poderia, por exemplo estar flutuando no ambiente. Para tanto é necessário a obtenção da localização do espectador no mundo real para que os cálculos sejam feitos em relação à posição adquirida. Se uma câmera de vídeo for usada para

a captura da cena, é necessário o conhecimento da posição dessa câmera. Existem diferentes maneiras para resolver esse problema e a melhor técnica vai depender do propósito do sistema desenvolvido [KIPPER, 2013].

Para um sistema onde deseja-se que um objeto virtual seja apresentado de forma que o usuário se relacione com o mesmo de forma intuitiva, o uso de técnicas de Visão Computacional seria adequado. Nesse caso, usando um programa de computador, a cena capturada seria rastreada à procura de marcadores (desenhos impressos distribuídos com o fim de fornecer a posição relativa e a perspectiva que serão aplicadas aos objetos virtuais). Essa técnica, apesar de ser bastante eficiente, depende do cadastramento prévio dos marcadores e da distribuição dos mesmos no ambiente [KIPPER, 2013].

Para o presente trabalho, necessitava-se de um Sistema de Realidade Aumentada onde o usuário pudesse se movimentar livremente ao visualizar a cena do mundo real. Essa cena deveria ser composta com todas as informações adicionais (objetos virtuais) alinhadas sem o uso de marcadores. Para isso precisava-se de um método, diferente do citado acima, onde seria possível a inserção de uma informação virtual em um lugar específico do mundo real.

Uma opção seria o cadastramento das informações virtuais já informando a posição no mundo real onde deveriam ser apresentadas. Sendo assim, faltaria só a obtenção da posição da câmera que a pessoa estaria usando, para se conseguir o alinhamento dos objetos virtuais. Apresentando de outra forma, no sistema criado, de posse da cena do mundo real, capturada por uma câmera e com as localizações do usuário e do objeto virtual, foi possível compor a cena de tal forma que a pessoa tem a percepção de que as informações se encontram no ambiente ao seu redor. Para isso, foi preciso um sistema que fornecesse a localização do usuário no mundo real [ALAN, 2013].

Diferentes meios podem ser usados para se localizar uma pessoa no mundo real e a facilidade de se conseguir essa informação está diretamente relacionada com o lugar onde a pessoa está. Ela pode estar em um ambiente externo, ao ar livre, ou em um ambiente fechado, por exemplo, dentro de uma sala de escritório. Para a localização em ambientes externos (outdoor) poderia ser usado um sistema de navegação por satélite, como por exemplo o GPS (*Global Positioning System*), cuja utilização já está bastante difundida e possui uma eficácia já comprovada. No entanto, para a localização em ambientes fechados (indoor) não existe, até

o momento, um sistema cuja eficácia e eficiência sejam aceitas como padrão [LYMBEROPOULOS, 2015] [LYMBEROPOULOS, 2017].

2.4. Tecnologias Associadas

2.4.1. Localização

Segundo o dicionário da língua portuguesa, no contexto da geografia, localização pode ser conceituada como o processo ou ação de determinar a posição de algo. É possível categorizar as metodologias de posicionamento em: Posicionamento Absoluto e Posicionamento Relativo.

2.4.1.1. Posicionamento Absoluto

No Posicionamento Absoluto, a localização do usuário é determinada através de informações obtidas de equipamentos (beacons) fixados no ambiente, os chamados Pontos de Acesso. Sistemas de Posicionamento Absoluto podem ser desenvolvidos através do uso de RFID (Radio frequency identification), IrDA (Infrared Data Association) ou equipamentos acústicos. Os principais métodos usados para determinar a posição de um dispositivo móvel envolvem medir: a diferença do tempo de chegada do sinal, o ângulo de chegada do sinal ou a potência do sinal [LYMBEROPOULOS, 2015].

A técnica de Lateração (*Lateration*), faz uso da distância calculada pela diferença do tempo de chegada do sinal, desde a sua transmissão até o seu recebimento. Sabendo-se que a velocidade de propagação dos sinais usados é constante (velocidade da luz no caso de micro-ondas), é possível determinar a distância entre dois pontos. Porém, para que as estimativas sejam feitas corretamente, é necessário que os relógios dos pontos de acesso e do receptor no dispositivo móvel estejam sincronizados. O principal ponto negativo dessa técnica é a necessidade de enviar pelo sinal um rótulo de marcação de tempo para que os cálculos sejam executados com precisão e isso depende da sincronização exata dos relógios. Um exemplo do uso dessa técnica para localização em ambientes abertos é o GPS [AQUINO, 2013].

Para se aplicar a técnica de Angulação (*Angulation*) na determinação da posição de um dispositivo móvel, é necessário a instalação de pontos de acesso que possuam um conjunto

de antenas direcionais, de tal forma que todos os ângulos de recepção sejam cobertos (360º graus). Ao receber o sinal do dispositivo móvel o ponto de acesso encontra a antena que recebe o sinal com maior amplitude, indicando assim a direção de onde ele foi gerado. A intersecção das linhas de direção identificadas pelos pontos de acesso determina a localização do transmissor. A dependência da instalação de equipamentos pouco convencionais nos ambientes comerciais, assinala o ponto negativo dessa técnica [AQUINO, 2013].

Na técnica denominada *Fingerprinting* é utilizada a amplitude do sinal recebido pelo dispositivo móvel. Nesse modelo, todo o ambiente é mapeado dividindo-o em quadrantes onde amostras das potências de recepção do sinal dos pontos de acesso são armazenadas em uma tabela que será consultada para comparação com a potência de sinal informada pelo dispositivo móvel inferindo assim a localização do usuário [TAHERI, 2004]. O maior problema encontrado na implementação dessa técnica é a dificuldade de manter a tabela de sinais atualizada, isso porque as condições físicas dos ambientes (número de pessoas e equipamentos instalados) mudam constantemente e a aquisição de novas amostras demanda um esforço permanente.

2.4.1.2. Posicionamento Relativo

No Posicionamento Relativo, a posição atual é determinada com base na última posição conhecida. A odometria e a navegação inercial podem ser usadas na criação de sistemas de Posicionamento Relativo e o principal método utilizado é o *Dead Reckoning*. Esse método calcula a posição com base na coordenada inicial, na direção do deslocamento e na velocidade do deslocamento. Os dados de entrada para a realização dos cálculos são fornecidos por uma Unidade de Medição Inercial (IMU), onde os principais sensores são o acelerômetro, o giroscópio e o magnetômetro [GUSENBAUER, 2010].

No posicionamento relativo, o uso do *Dead Reckoning* para a medição em Sistemas de Navegação Estimada (ou Inercial, INS) para pedestre é o único método prático existente. No entanto, essa técnica fornece um resultado pobre, devido a imprecisão dos sensores causada por vibrações, deriva e imperfeição nos seus componentes. O acúmulo de erros exige um aprimoramento constante nos seus resultados, o que leva muitas vezes ao uso de uma fonte de correção externa. Um possível avanço seria substituir os tradicionais cálculos de posição e velocidade (métodos de integração) pelo uso da contagem dos passos executados pelo

usuário. Essa abordagem proporciona uma melhora significativa nos resultados [GROVES, 2008].

2.4.2. Navegação

2.4.2.1. Sistema de navegação por satélite

Os sistemas de navegação por satélite mais conhecidos hoje em dia são, o sistema estadunidense NAVSTAR/GPS, o sistema russo GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), o sistema chinês COMPASS e o sistema da União Europeia GALILEO, sendo esse último o único projeto civil [GREWAL, 2013] [HOFMANN, 2008].

O GPS é o sistema mais difundido e, como todo sistema de navegação por satélite, é estruturado a partir de um conjunto de satélites onde cada satélite transmite, ao mesmo tempo, o momento e a localização em que se encontra. Deste modo a distância entre o receptor e o satélite pode ser estimada calculando-se o tempo que o sinal gasta para chegar ao receptor. A posição tridimensional do receptor pode ser calculada quando for possível estimar a distância de pelo menos 4 satélites [GREWAL, 2013].

2.4.2.2. Sistema de navegação inercial (INS)

São chamados de Sistemas de Navegação Inercial ou Posicionamento Inercial, os sistemas onde a atualização da trajetória de um ponto é independente de qualquer sinal transmitido externamente e cuja determinação do resultado é calculado em relação a um ponto inicial onde as coordenadas, orientação e velocidade são conhecidas. Os cálculos da trajetória são realizados usando-se as medições fornecidas por um arranjo de acelerômetros, giroscópios e/ou bússolas, arranjo esse conhecido como unidade de medida inercial ou IMU (*Inertial Measurement Unit*). Partindo da aceleração fornecida, é possível determinar as alterações da velocidade e posição através de sucessivas integrações matemáticas. Além disso, movimentos de rotação podem ser obtidos através da velocidade de rotação em torno dos eixos [GROVES, 2008].

Sistemas que utilizam rastreamento por navegação estimada estão sujeitos a erros incrementais devido à imprecisão dos sensores utilizados, a deriva (deslizamento - *drift*) nos giroscópios e o erro sistemático nos acelerômetros. Dessa forma ocorre uma degradação no sistema de navegação. Para minimizar esse erro acumulado é necessário o uso de técnicas

extras que se fundem para formar um sistema híbrido. Técnicas estocásticas são, tradicionalmente, usadas para compensar os erros dos sensores inerciais, sendo o filtro de Kalman o método mais utilizado [GROVES, 2008]. Uma outra técnica extra é a correspondência com mapas (map matching) que é realizada através da comparação dos dados obtidos pelo sistema e as informações contidas em um banco de dados do ambiente onde a navegação ocorre.

2.4.2.3. Navegação estimada para pedestres (Pedestrian Dead Reckoning)

Um dos maiores desafios na aplicação da tecnologia de navegação é a navegação de pedestre [SIMÕES, 2013]. Sistemas que integram esse tipo de navegação devem trabalhar em locais onde o GPS não funciona adequadamente, isto é, em cânions urbanos, sobre a cobertura de árvores e dentro de construções. O uso de sensores inerciais para a medição da navegação estimada é o único método prático existente [MILETTE, 2012]. Porém, para que seja um sistema de uso geral ele deve ser pequeno, leve, com um mínimo de consumo de energia e de baixo custo. Portanto, o uso de Sistemas Microeletromecânicos (MEMS) se faz necessário. No entanto, esses sistemas fornecem um resultado pobre, devido a vibrações e a imperfeição no alinhamento dos seus componentes, o que causa um acúmulo de erros e exige uma calibração constante.

Uma solução para o desenvolvimento de um sistema de navegação estimada para pedestre é o uso de sensores inerciais para a contagem dos passos realizados pelo usuário, substituindo assim, os cálculos de posição e velocidade realizados nos sistemas de navegação inercial (INS) tradicionais. Essa abordagem proporciona uma melhora significativa nos resultados [GROVES, 2008].

2.4.3. Distância DTW (Dynamic Time Warping)

Dynamic Time Warping (DTW), são algoritmos que medem a similaridade entre duas séries temporais que podem variar tanto em tempo como em velocidade. Inicialmente, essa técnica foi utilizada para reconhecimento de fala e depois difundida para outras áreas [YASUSHI, 2005] [NIPUN, 2014].

Diferente da distância Euclidiana, que deve utilizar vetores do mesmo tamanho e as sequencias devem estar alinhadas, a DTW não tem essa restrição. Na DTW as sequências são deformadas de maneira não linear no tempo para determinar a medida de sua similaridade independente de variações não lineares na dimensão temporal [GIORGINO, 2008]. A Figura 5 ilustra as correspondências Euclidiana e DTW. Enquanto na Euclidiana as duas curvas apresentadas não são consideradas equivalentes na DTW elas possuem um certo grau de similaridade.

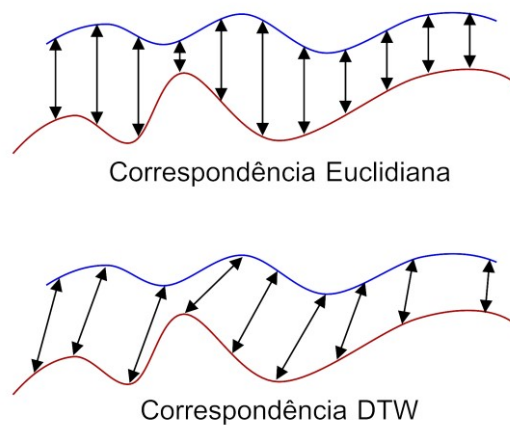


Figura 5 - Exemplo de correspondência Euclidiana e DTW aplicada às mesmas séries temporais.

2.4.4. Padrões de arquitetura

Os padrões de arquitetura têm como principal função manter um código limpo, escalável e testável. Esses padrões oferecem as soluções necessárias para a criação de sistemas confiáveis e performáticos [SILVEIRA, 2012].

Para o presente trabalho foi definido o padrão arquitetural *Model View Presenter* (MVP), mostrado na Figura 6.



Figura 6 - Padrão Arquitetural MVP.

O padrão MVP implementa a separação da representação da informação da interação do usuário, ou seja, isola a interação do usuário da lógica de negócio e acesso aos dados. Nesse padrão o *Model* tem a responsabilidade de fornecer as funcionalidades do sistema e notificar as alterações de dados ao *Presenter*. A *View* apresenta as informações, recebe as configurações do sistema e envia requisições de dados ao *Presenter*, cuja função é definir o comportamento da aplicação, as ações a serem tomadas e determinar o direcionamento dos dados [POTEL, 1996].

2.5. Consideração Final

Esse capítulo serve de guia para o melhor entendimento dos tópicos abordados na tese. Ele permite uma melhor compreensão do funcionamento dos sistemas avaliados, bem como as tecnologias aplicadas no sistema criado.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

3.1. Introdução

O presente capítulo apresenta uma revisão de estudos considerados relevantes e relacionados as duas principais tecnologias envolvidas nessa pesquisa, ou seja, trabalhos que discutam a implementação de Sistemas de Realidade Aumentada e de Sistemas de Posicionamento para dispositivos móveis e que deem atenção especial para localizado em ambientes internos. Os trabalhos são apresentados em ordem cronológica de publicação juntamente com as conclusões e comparações obtidas.

3.2. Trabalhos relacionados

3.2.1. Sistema híbrido de posicionamento

Representantes dos centros de pesquisa da Nokia e da VTT (empresas sediadas na Finlândia) apresentaram essa pesquisa na *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation* [KEMPPİ, 2010]. O artigo apresenta uma proposta de estratégia de localização que utiliza os sensores: acelerômetro, giroscópio e magnetômetro, em um sistema de posicionamento relativo que trabalha em conjunto com um sistema de posicionamento absoluto. Os dados, obtidos na aplicação de algoritmos que utilizam os ângulos de chegada dos sinais transmitidos por um conjunto de antenas previamente instaladas no ambiente, são utilizados pelo sistema de posicionamento absoluto. O resultado da utilização do sistema pode ser observado nas Figuras 7 e 8.

O artigo apresenta os conceitos necessários para a combinação dos dados obtidos nas diversas técnicas utilizadas além da maneira como diferentes filtros são aplicados a esses dados para facilitar a inferência dos resultados.

O resultado alcançado pelo protótipo implementado é considerado promissor e sua precisão é avaliada pelos autores como bastante boa.

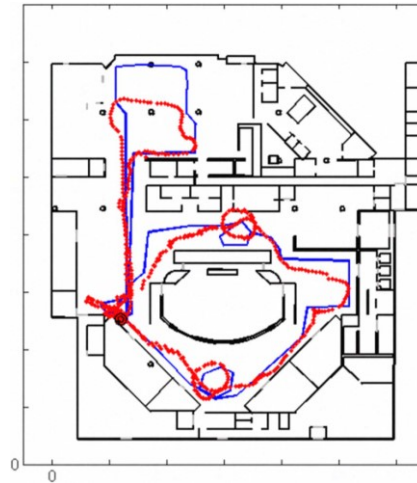


Figura 7 - A linha vermelha mostra a localização estimada pelo sistema e a linha azul é a rota de referência [P. KEMPPI, 2010].

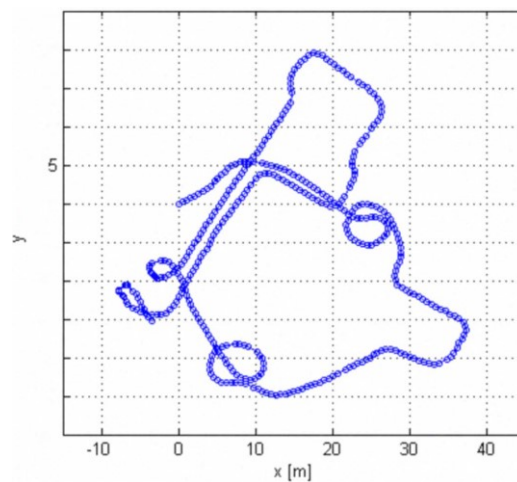


Figura 8 - Percurso obtido na utilização do algoritmo PDR (*Pedestrian Dead Reckoning*) [KEMPPI, 2010].

As principais desvantagens desse estudo em comparação com o sistema proposto são: a necessidade da instalação de uma infraestrutura específica, o que dificulta a generalização do sistema, e a falta de testes realizados com smartphones, principalmente no que se refere ao posicionamento do equipamento utilizado pelo PDR, que no caso foi fixado na cintura do usuário. Além disso a necessidade da aquisição da planta baixa do ambiente para a

apresentação do resultado acrescenta uma dependência a mais no desenvolvimento do sistema.

3.2.2. Ferramenta de navegação baseada em Realidade Aumentada

Publicado por Low Chee Huey no *IEEE Conference on Open Systems* [HUEY, 2011], essa pesquisa apresenta uma abordagem para o desenvolvimento de um Sistema de Navegação para ambientes fechados que utiliza um Sistema de Realidade Aumentada para exibir sinais de orientação que direcionam o usuário por uma rota determinada, Figura 9. O usuário procura no ambiente os marcadores distribuídos e utiliza o sistema para visualizar as orientações gráficas vinculadas a esses marcadores.



Figura 9 - Sinais direcionais apresentados pelo sistema [HUEY, 2011].

O autor conclui com essa pesquisa que apesar do sistema ter se mostrado satisfatório, ele precisa de melhorias para lidar com o layout de lugares mais complexos, o que tornaria o sistema uma alternativa viável para a criação de Sistemas de Navegação em ambientes internos. Apesar do autor afirmar que o sistema proposto pode ser aplicado à dispositivos móveis, o protótipo apresentado é implementado em um notebook com webcam instalada. Além disso a necessidade da distribuição prévia de marcadores em pontos estratégicos do

ambiente limita a praticidade do sistema e torna a sua utilização dependente da localização dos mesmos.

3.2.3. Localização em interiores por RA usando câmeras distribuídas

Esse estudo propõe a utilização da Realidade Aumentada juntamente com técnicas de visão computacional para o desenvolvimento de um Sistema de Localização em ambientes internos. A abordagem utiliza um conjunto de câmeras com lentes grande angular, Figura 10, instaladas no teto do ambiente, que enviam as imagens capturadas para um servidor que as analisa e detecta as atividades humanas. Os dados obtidos na análise são enviados para o dispositivo móvel do usuário que apresenta o resultado em um Sistema de Realidade Aumentada. A Figura 11 ilustra o resultado apresentado. [MENG-YUAN HSIEH, 2012].



Figura 10 - Imagem da câmera grande angular [MENG-YUAN, 2012].



Figura 11 - Posição inferida pelo sistema [MENG-YUAN HSIEH, 2012].

Os resultados apresentados pelo autor foram obtidos através de experimentos e apontam para um sistema viável, mas que precisa de várias melhorias para se tornar um Sistema de Localização confiável.

A dependência da instalação de uma infraestrutura complexa e uma comunicação continua com um servidor para a realização do cálculo de posicionamento do usuário, se apresentam como a grande desvantagem dessa abordagem e limitam a sua utilização para um propósito geral.

3.2.4. Navegação em interiores usando RA e características do ambiente

Esse trabalho apresenta um protótipo para Sistemas de Navegação em ambientes fechados que usa as características do local para determinar a posição do usuário e fornecer instruções de navegação. Essas instruções são apresentadas em um Sistema de Realidade Aumentada implementado em um smartphone [KASPRZAK, 2013].

O protótipo não foi testado em um ambiente real, mas sim em um ambiente simulado. As Figuras 12 e 13 mostram o experimento em andamento.



Figura 12 - Digitalizando as características do ambiente [S. KASPRZAK, 2013].

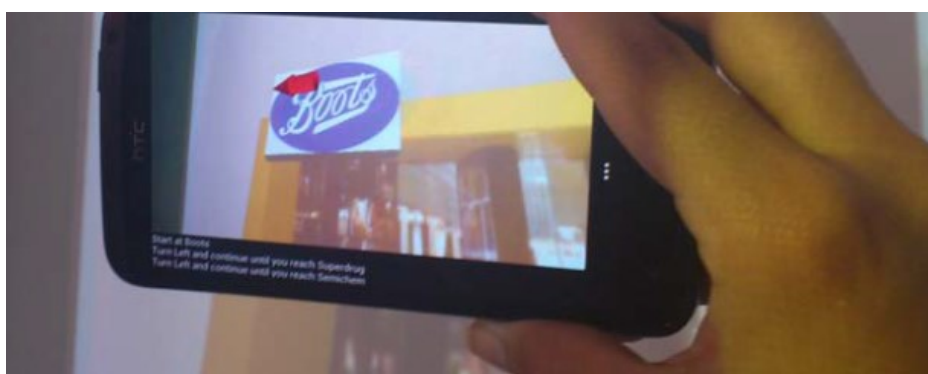


Figura 13 - Seta direcional sendo apresentada no SRA [KASPRZAK, 2013].

A conclusão descrita no artigo indica que a abordagem adotada permite navegações complexas, principalmente em se tratando de construções com vários andares, mas apesar do sistema proposto não depender da distribuição de marcadores pelo ambiente, é necessário um cadastramento prévio de suas características e a descoberta dos mesmos pelo usuário para que as informações de localização sejam apresentadas.

3.2.5. AnDReck

O trabalho publicado em 2013 propõe a arquitetura de um sistema, implementado em um smartphone, para o cálculo de posicionamento baseado em navegação estimada para pedestre. Com esse fim é empregado um algoritmo de detecção de picos em um contador de passos, exemplificado na Figura 14, juntamente com um método de calibragem que permite estimar o comprimento do passo. Para o cálculo da orientação do usuário é aplicado um

algoritmo que tem como entrada os dados fornecidos pela bússola digital disponível no dispositivo móvel [SIMÕES, 2013].

O artigo discute sobre vários conceitos de navegação estimada, avaliando as suas vantagens e desvantagens e apresenta diagramas descrevendo a utilização das abordagens implementadas, como no exemplo da Figura 15.

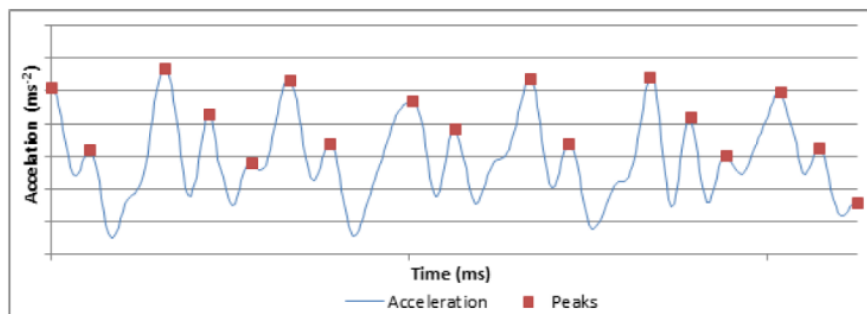


Figura 14 - Exemplo de picos candidatos a serem passos em um sinal de aceleração [SIMÕES, 2013].

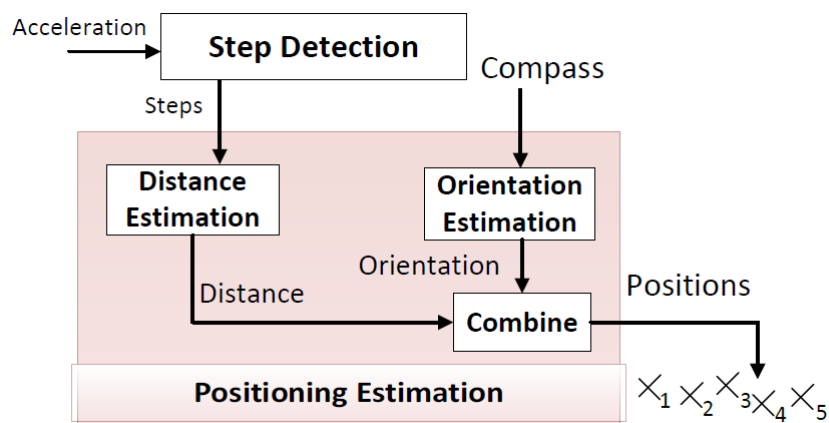


Figura 15 - Componentes e informações do fluxo do módulo que estima o posicionamento [SIMÕES, 2013].

O autor conclui que os resultados obtidos na avaliação do protótipo criado para um smartphone Android, foram considerados muito positivos, mas sujeito a melhorias.

Em comparação com a abordagem discutida nesse trabalho o AnDReck se limita basicamente a utilização de um PDR (Pedestrian Dead Reckoning) e não apresenta avaliações do seu uso em um ambiente fechado, bem como a utilização de um Sistema de Realidade

Aumentada para visualização das informações obtidas. No entanto, em se tratando de PDR o trabalho se mostra bastante relevante e pode servir de parâmetro para o direcionamento e comparação entre os sistemas.

3.2.6. Previsão da navegação em ambientes fechados

Esse estudo propõe uma arquitetura, mostrada em parte na Figura 16, para localização e navegação em ambientes fechados. O sistema pretende, sem o contato direto com o usuário, reconhecer qual o destino desse usuário e estimar os caminhos que poderão ser utilizados. Para isso a abordagem emprega uma combinação dos dados obtidos pelos sensores de um smartphone, um mapa do ambiente (gerado por um robô mecânico) e modelos probabilísticos [MENEGUZZI, 2013].

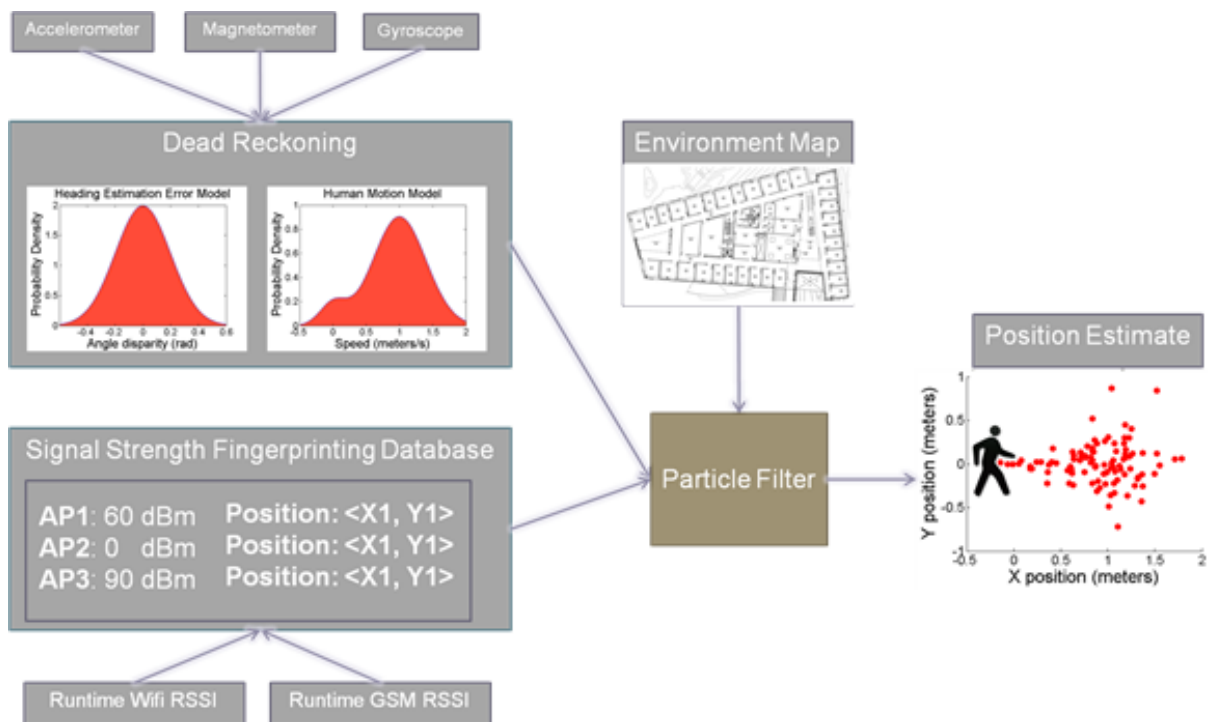


Figura 16 - Arquitetura do Sistema de Localização [MENEGUZZI, 2013].

Para a determinação da localização do usuário a proposta utiliza o sinal dos WiFi existentes no ambiente em conjunto com um sistema de navegação estimada (Dead

Reckoning) onde os dados do acelerômetro, giroscópio e magnetômetro são empregados como parâmetros de entrada.

O valor da força do sinal dos WiFi, obtido pelo smartphone, juntamente com o mapa de sinais (Fingerprinting) cadastrado previamente em um banco de dados, fornecem a localização inicial usada como a primeira posição do sistema de navegação relativa que aplica um algoritmo de fusão de sensores (Sensor Fusion) e um filtro de partículas para fazer uma estimativa aproximada do posicionamento do usuário.

O artigo apresenta os vários conceitos envolvidos, a arquitetura utilizada e o resultado dos experimentos realizados. O autor relata que os módulos que compõem o sistema são implementados separadamente e se comunicam utilizando os recursos de programação presentes na plataforma Android. São discutidas também as limitações das técnicas usadas e apresentadas propostas para minimiza-las.

Os experimentos são feitos em condições controladas e os resultados são considerados promissores, mas necessitam de melhorias.

A dependência de um mapeamento do ambiente gerado por um robô, torna difícil e limita a aplicabilidade desse estudo. Apesar disso o trabalho é considerado relevante pela análise que é feita tanto no uso de um sistema de navegação inercial como pela sua combinação com um mapa de sinais de WiFi.

3.2.7. RoomSense

Mirco Rossi apresenta em 2013 esse trabalho que descreve um método de posicionamento em ambientes fechados baseado no mapeamento sonoro do ambiente (Active Sound Fingerprinting) usando um smartphone, método esse que é semelhante ao mapeamento de sinais de WiFi.

Em uma primeira etapa é feito a leitura do comportamento sonoro em vários pontos do ambiente e criado um banco de dados com essas informações. Em uma segunda etapa as características acústicas do local onde o usuário se encontra são comparadas com o banco de

dados criado, obtendo assim uma estimativa da sua localização. A arquitetura do sistema proposto pode ser vista na Figura 17 [Rossi, 2013].

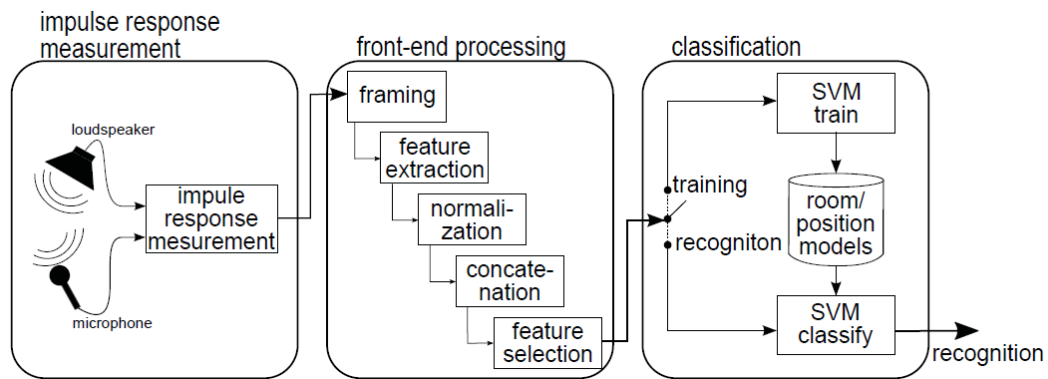


Figura 17 - Arquitetura dos principais componentes do sistema [Rossi, 2013].

O autor conclui que o sistema proposto tem uma precisão excelente e a abordagem possui um grande potencial de aplicação em serviços de localização em ambientes fechados. Porém, os experimentos realizados utilizaram uma fonte sonora audível, o que inviabiliza o seu uso de forma generalizada.

Apesar da abordagem do estudo ter pouca similaridade com a proposta do sistema desenvolvido, ele foi considerado relevante pela similaridade do tratamento do mapa sonoro e do mapa de sinais de WiFi, que contribui com um olhar diferenciado sobre o tema e permite uma comparação dos resultados obtidos pelos dois sistemas.

3.2.8. *Posicionamento em ambientes fechados por combinação de sensores*

O estudo apresentado em 2015 por Fredrik Karlsson discute uma abordagem para um Sistema de Posicionamento Indoor que é baseada no mapeamento dos sinais produzidos por um conjunto de WiFi, instalados no ambiente, combinado com um sistema de navegação estimada. O cálculo do posicionamento é feito usando-se a técnica de trilateração dos sinais dos WiFi através de um Filtro de Partículas combinado com as informações obtidas do sistema

de navegação estimada que usa um contador de passos como entrada dos parâmetros [KARLSSON, 2015].

Para a coleta dos dados usados no sistema de navegação estimada (PDR – Pedestrian Dead Reckoning) foi usado um smartphone Sony Xperia Z1 e os resultados podem ser vistos na Figura 18.

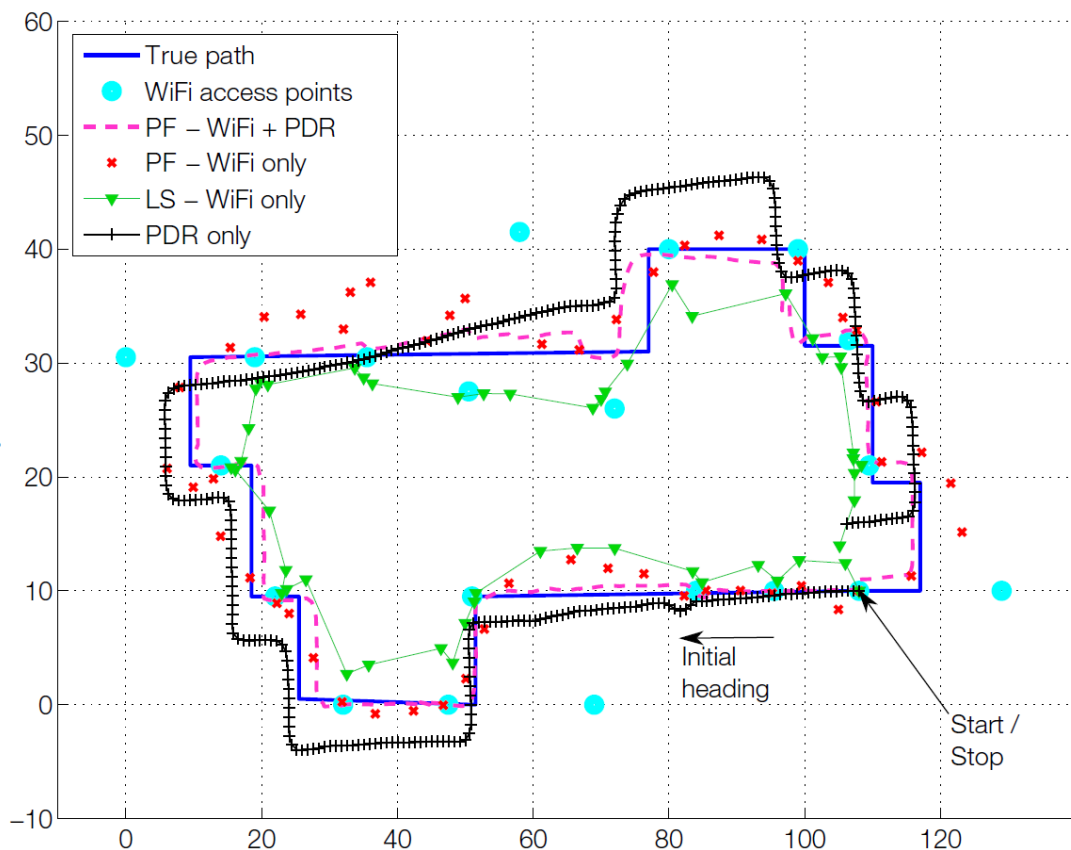


Figura 18 - Posição estimada aplicando diferentes algoritmos [KARLSSON, 2015].

O autor conclui que a combinação do uso dos pontos de acessos WiFi e do PDR proporcionou os melhores resultados de posicionamento.

Esse trabalho não apresenta uma proposta que utilize um Sistema de Realidade Aumentada e apesar de utilizar os sensores de um smartphone também não oferece uma arquitetura para o seu uso em um dispositivo móvel. Apesar disso o estudo é relevante pela

utilização de várias técnicas de posicionamento também aplicadas no sistema desenvolvido nesse trabalho.

3.2.9. Navegação em Realidade Aumentada

No artigo XYZ Indoor Navigation Through Augmented Reality [KAIXU, 2016], os autores apresentam uma abordagem para o desenvolvimento de um Sistema de Navegação em ambientes internos que utiliza um Sistema de Realidade Aumentada para apresentar sinais de orientação que direcionam o usuário por uma rota determinada. A técnica usada para a localização do usuário é a análise do campo geomagnético capturado pelo sensor do smartphone em comparação com uma base de dados contendo o mapa dos campos nos vários ambientes do edifício. Apesar de não precisar da instalação de uma infraestrutura própria para a sua utilização a abordagem usada nesse trabalho relacionado necessita do cadastramento antecipado tanto do mapa dos campos geomagnéticos como da planta baixa dos ambientes, implicando em uma manutenção constante do sistema.

3.2.10. Sistema baseado em Fingerprint

Em Indoor Fingerprint Positioning Based on Wi-Fi [SHIXIONG, 2017] uma visão geral da técnica Fingerprint para posicionamento em ambientes internos é apresentada juntamente com vários conceitos usados em abordagens que usam localização indoor. Esse estudo, apesar de tratar de uma estratégia específica para sistemas de localização, é relacionado aqui pelos conceitos tratados e por ser a *Fingerprint* uma das técnicas que pode ser implementada em conjunto com a estratégia implementada no protótipo desenvolvido nessa pesquisa. A principal desvantagem desse trabalho é a necessidade da instalação de uma infraestrutura específica para a sua utilização.

3.3. Estudo comparativo dos trabalhos relacionados

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os trabalhos relacionados e permite observar que, atualmente, a maioria das abordagens trata do estudo de técnicas de

localização, mas não têm a preocupação de apresentar uma estratégia que permita a sua utilização juntamente com Sistemas de Realidade Aumentada. Além disso, as abordagens não são flexíveis o suficiente, de forma a permitir que várias técnicas sejam usadas em conjunto uma com as outras. Por outro lado, os trabalhos que utilizam Sistemas de Realidade Aumentada têm como técnica principal o uso da Visão Computacional, nos procedimentos utilizados para o posicionamento, e não apresentam soluções para o emprego de outras abordagens.

Tabela 1 – Comparação entre os trabalhos relacionados

Referência	Técnicas Abordadas para Localização	Visualização em Planta baixa, Gráficos e Realidade Aumentada	Não depende de infraestrutura	Apresenta arquitetura
P. Kemppi et al. 2010	Wifi Fingerprinting + PDR + Angle-based localization	X	X	X
L. C. Huey et al. 2011	Visão Computacional	X	X	X
Meng-Yuan Hsieh et al. 2012	Visão Computacional	X	X	X
S. Kasprzak et al. 2013	Visão Computacional	X	X	X
C. F. C. S. J. Simões 2013	GPS + PDR + Step Counter	X	✓	X
F. Meneguzzi et al. 2013	Wifi Fingerprinting + PDR + Particle Filter	X	X	X
M. Rossi et al. 2013	Active Sound Fingerprinting	X	X	X
F. Karlssoni et al. 2015	Dual Band WiFi + PDR + Butterworth filter	X	X	X
Kaixu Liu et al. 2016	Campo geomagnético	X	X	X
Shixiong et al. 2017	Wifi Fingerprinting	X	X	X
Webert V. A. 2018	GPS + PDR + Path Similar	✓	✓	✓

3.4. Competição de localização em ambientes fechados

Em [LYMBEROPOULOS, 2015] [LYMBEROPOULOS, 2017] foram apresentados os resultados das experiências e lições aprendidas através da comparação de um conjunto de diferentes técnicas e abordagens para localização em ambientes fechados. Realizada durante a *Microsoft Indoor Localization Competition*, mais de vinte equipes oriundas de vários países apresentaram as suas soluções em um mesmo espaço.

A Tabela 2 mostra a lista das equipes participantes em 2014, analisadas em 2014, e são apresentadas em ordem de melhor precisão conseguida. A Tabela 2 destaca também o número de meses gastos para o desenvolvimento dos sistemas, as técnicas usadas, e o uso da instalação de uma infraestrutura específica.

Entre as conclusões apresentadas nos artigos, principalmente o de 2015, vale ressaltar a diferença entre os resultados conseguidos pelas equipes e os resultados esperados pelas mesmas. A diferença entre os resultados foi devida, principalmente, ao fato de os resultados esperados terem sido estimados em testes de laboratório, ou seja, em ambientes controlados, e na competição o ambiente era mais próximo da realidade. Na maioria dos casos os resultados esperados eram melhores do que os resultados conseguidos, exceto pelas equipes que se baseavam na estrutura de WiFi instaladas no local, que devido ao tamanho do ambiente tinham uma densidade maior do que nos experimentos em laboratório.

Outra conclusão que merece destaque é a de que o problema da localização em ambientes fechados permanece um problema ainda sem solução. Nenhuma das abordagens adotadas proporcionou uma experiência igual a conseguida no uso do GPS ao ar livre. Apesar de várias equipes terem conseguido uma precisão bastante alta, no quesito de estabilidade todas elas tiveram problemas em determinados pontos do ambiente, ou seja, em alguns locais a precisão era alta, enquanto em outros os sistemas tinham dificuldade em obter uma precisão aceitável.

Na competição de 2017 os resultados apresentaram uma ligeira melhora, mas o desafio ainda permanece.

Tabela 2 - Resultado da Microsoft Indoor Localization Competition [Lymberopoulos, 2015].

	Desenv. (Meses)	Referência	Afiliação	Técnicas Abordadas	Não depende de infraestrutura
1	60	Bestmann et al. 2013	Lambda:4 Entwicklungen (DE)	2.4GHz Phase Offset	X
2	96	Klepal et al. 2012	Cork Institute of Technology (Irlanda)	WiFi Fingerprinting Bayesian Filter	X
3	36	Laoudias et al. 2013	University of Cyprus/ Cywee (Chipre)	WiFi+IMU Fingerprinting	X
4	12	Li et al. 2014	MSR Asia (China)	WiFi+Modulated LEDs	X
5	72	Adler et al. 2014	Freie University Berlin (DE Alemanha)	2.4GHz Time-of-Flight	X
6	24	Lazik et al. 2012	CMU (USA)	Ultrasonic Time-of- Flight	X
7	12	Zou et al. 2014/2015	Nanyang Technology University (Singapura)	WiFi Fingerprinting Neural Network	X
8	18	Ashok et al. 2013	Rutgers (USA)	IR/Radio Time-of-Flight	X
9	5	Nikodem et al. 2014	Wroclaw University of Technology (Polônia)	2.4GHz Time-of-Flight	X
10	24	Dentamaro et al. 2014	NextoMe (Itália)	WiFi+Bluetooth+IMU	X
11	9	Ferraz et al. 2014	Ubee S.A. (Brasil)	WiFi+IMU Fingerprinting	X
12	24	Li et al. 2014	MSR Asia (China)	WiFi+IMU Fingerprinting Particle Filter	X
13	12	Marcaletti et al. 2014	ETH/IMDEA/ Armasuisse (Suíça)	WiFi Time-of-Flight Adaptive Filter	X
14	12	Xiao et al. 2014	University of Oxford (Inglaterra)	WiFi+IMU+Maps C. Random Fields	X
15	24	Abrudan et al. 2015	University of Oxford (Inglaterra)	Modulated Magnetic Signals	X
16	4	Sark et al. 2014	Humboldt University of Berlin (Alemanha)	Software Defined Radio Time-of-Flight	X
17	90	PirkI et al. 2012	DFKI (Alemanha)	Modulated Magnetic Signals	X
18	24	Schmid et al. 2014	Greina Technologies (USA)	2.4GHz Phase Offset	X
19	12	Zhang et al. 2014	Nanyang Technology University (Singapura)	WiFi+Magnetic Fingerprinting Particle Filter	X
20	3	Ghose et al. 2015	Tata Consulting Services (Índia)	WiFi+IMU Fingerprinting Decision Trees	X
21	3	Jiang et al. 2013/2014	Xian Jiaotong University (China)	WiFi+Sound Time-of- Flight	X
22	3	Selavo et al. 2010	I.E.C.S. (Letônia)	Steerable Antennas Time-of-Flight	X

3.5. Considerações finais

Apesar de alguns artigos que tratam de técnicas de localização em locais fechados citarem que as suas propostas podem ser utilizadas em Sistemas de Realidade Aumentada, não foi possível encontrar, até o momento, um trabalho que relacionasse ou apresentasse uma arquitetura com técnicas de localização aplicadas à Realidade Aumentada e que permitisse ao usuário visualizar a localização de uma outra pessoa. Isto é, uma arquitetura que permita, quando implementada em dispositivos móveis, o acompanhamento da localização de uma pessoa ou pontos de interesse, através de Realidade Aumentada e mapa digital.

Em nenhum dos estudos analisados foi encontrado um sistema integrado que pudesse ser utilizado tanto em ambientes externos como em ambientes internos e que apresentasse o resultado tanto em Realidade Aumentada como em um sistema de mapas digitais. Um sistema nesses moldes pode fornecer novas possibilidades no uso de técnicas mistas e, portanto, se apresenta como uma proposta única que poderá ser usada para o direcionamento de novas pesquisas na área.

O próximo capítulo apresenta uma estratégia, através de uma arquitetura computacional, que pode suportar as tecnologias apresentadas nos trabalhos relacionados e minimizar as suas limitações, contribuindo assim para uma expansão das tecnologias implementadas em dispositivos móveis.

Capítulo 4

Arquitetura e Desenvolvimento do Aplicativo

4.1. Introdução

Os temas Localização e Realidade Aumentada são aqui abordados através da proposição de uma arquitetura cuja estrutura contempla oito etapas: (1) Reconhecimento de atividades (parado ou movendo, em ambiente externo ou interno). (2) Inferência do posicionamento inicial. (3) Estimativa do comprimento do passo. (4) Indução da orientação do usuário (direção do movimento). (5) Cálculo do posicionamento do usuário através da contagem de passos. (6) Seleção dos percursos cadastrados. (7) Correção da posição por comparação com percursos similares. (8) Apresentação, em mapa digital e Realidade Aumentada, dos usuários e pontos de interesse próximos ao dispositivo móvel.

4.2. Requisitos funcionais (FR)

Os requisitos funcionais para o aplicativo desenvolvido são:

- FR01: permitir o cadastramento dos dados pessoais do usuário;
- FR02: permitir o cadastramento dos contatos com os quais o usuário poderá trocar informações;
- FR03: apresentar a localização do usuário em mapa digital e disponibiliza-la para troca de informações com os contatos.
- FR04: permitir a visualização da posição dos contatos em Realidade Aumentada e mapa digital;
- FR05: permitir a seleção dos contatos que estarão ativos para visualização e troca de informações;

- FR06: permitir o envio da localização do usuário para um ou mais contatos cadastrados;
- FR07: permitir que o usuário solicite a posição de um contato ativo;
- FR08: permitir a gravação dos dados obtidos pelos sensores do dispositivo para uso futuro; e
- FR09: permitir a seleção, aplicação de filtros e visualização gráfica dos dados obtidos dos sensores.

4.3. Requisitos não funcionais (NFR)

Os requisitos não funcionais para o aplicativo desenvolvido são:

- NFR01: o aplicativo deverá funcionar em dispositivos móveis com o sistema operacional Android;
- NFR02: uso de programação orientada a objetos sob a plataforma Android;
- NFR03: o aplicativo deve garantir a segurança das informações transmitidas entre os usuários e os contatos.
- NFR04: o software deve oferecer uma boa experiência de uso com uma usabilidade simples e eficiente.
- NFR05: os dispositivos móveis utilizados deverão possuir no mínimo: WiFi, GPS e os sensores acelerômetro, giroscópio e magnetômetro.

4.4. Descrição do sistema

O sistema permite a troca de informações de posicionamento entre os componentes de uma rede de contatos e visualização das localizações em mapa digital e Realidade Aumentada. O sistema também permite o acompanhamento da mudança de posicionamento de uma pessoa que esteja tanto ao ar livre como no interior de uma construção.

4.5. Design do sistema

As plataformas para o desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis, principalmente Android, oferecem uma grande flexibilidade na decisão da organização e aplicação de arquiteturas de projetos. Isso, por um lado, permite uma grande liberdade nas implementações, mas por outro, pode acarretar no desenvolvimento de sistemas de difícil manutenção e evolução. Sendo assim, a escolha de uma arquitetura que permita minimizar esses possíveis problemas de organização, manutenção e evolução, se mostra essencial no desenvolvimento de um sistema.

O padrão arquitetural definido para o sistema pretendido nesse trabalho é o MVP. Nesse padrão as responsabilidades são divididas em três camadas: Model, View e Presenter. Esses componentes são descritos a seguir.

4.5.1. View

É através do componente *MVP-View* que o usuário interage com o aplicativo e visualiza os resultados apresentados.

No desenvolvimento do aplicativo o componente *MVP-View* contém dois subsistemas principais, a interface com o usuário (*User Interface*) e o sistema de apresentação em realidade aumentada (*Augmented Reality*). A Figura 19 apresenta a relação entre eles.

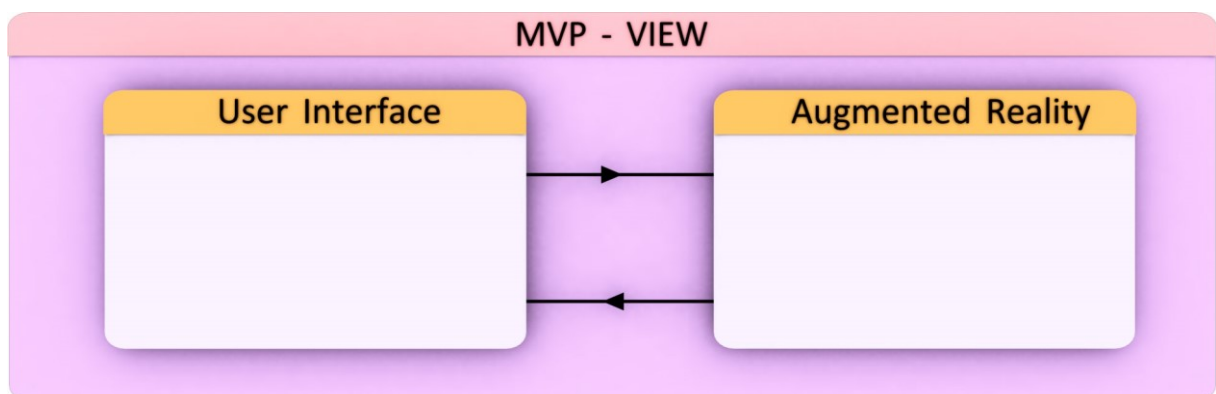


Figura 19 - Componente *MVP-View* com o fluxo de dados entre os subsistemas *User Interface* e *Augmented Reality*.

A interface do usuário (User Interface) mostrada na Figura 20a terá a responsabilidade de criação e apresentação dos layouts e componentes de interação com o usuário, além da manutenção das configurações do sistema. A apresentação da localização do usuário e dos contados sobre um mapa digital ficará a cargo desse subsistema e é feita através de layouts que usam a API (*Application Programming Interface*) do *Google Maps*.

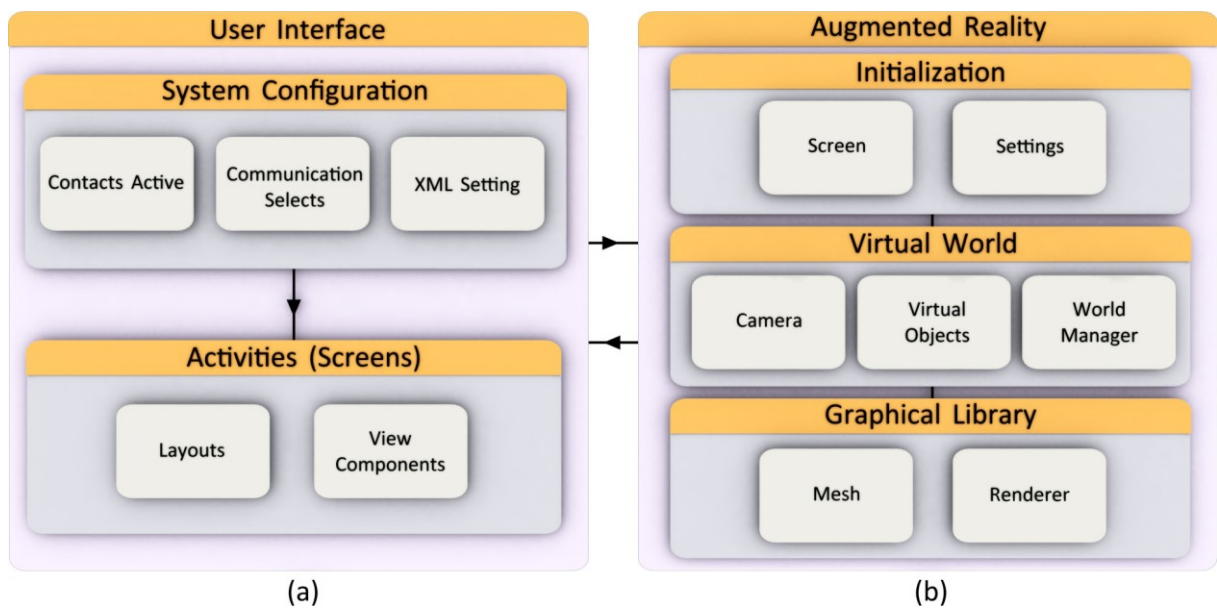


Figura 20 - Subsistemas (a) *User Interface* e (b) *Augmented Reality* com as seus respectivos pacotes e objetos.

A Realidade Aumentada (*Augmented Reality*) terá a responsabilidade de alinhar e apresentar os elementos virtuais sobre as imagens capturadas pela câmera física do dispositivo. Para esse fim o subsistema será organizado em três pacotes que terão as responsabilidades de:

- Inicialização do subsistema (*Initialization*).
- Criação e apresentação do mundo virtual (*Virtual Word*).
- Gerenciamento dos objetos virtuais contidos em uma biblioteca gráfica (*Graphical Library*).

Em resumo: Se os contados estiverem perto o suficiente do usuário (menos de 500 metros), eles poderão ser visualizados em Realidade Aumentada. Para isso, o subsistema de

Realidade Aumentada, mostrado na Figura 20b, ao ser acionado pela interface do usuário, solicita a posição do usuário e dos contatos ao sistema, cria o mundo virtual (usando como base de cálculo o diâmetro da Terra e conversões de distâncias), e posiciona os objetos virtuais sobre a imagem do mundo real, ou seja, os elementos visuais que identificam o usuário e os contatos serão apresentados na câmera do dispositivo nas posições onde se encontram.

4.5.2. **Presenter**

Todas as atitudes executadas pelo usuário no componente *MVP-View* serão repassadas para o componente *MVP-Presenter*. Esse componente é que decide as ações a serem tomadas e qual o comportamento da aplicação. A Figura 21 representa o *MVP-Presenter*. Ficará também a cargo do *Presenter* o recebimento de todas as mensagens do componente *MVP-Model*, além de como e onde as informações recebidas serão apresentadas.



Figura 21 - Componente *MVP-Presenter* com o seu subsistema e objetos.

O *Presenter* não executa nenhuma ação diretamente e a sua responsabilidade é exclusivamente de ligação entre a *MVP-View* e o *MVP-Model*. Ele recebe as interações e requerimentos realizados na *MVP-View* e os direciona para as funções corretas contidas no *MVP-Model*, bem como direciona para o layout, responsável pela apresentação, qualquer alteração de dados processado pelo *MVP-Model*.

4.5.3. Model

O componente *MVP-Model* além de suportar todas as funcionalidades do aplicativo é responsável pela persistência dos dados, sincronismo e comunicação entre o usuário e os contatos. Composto por seis subsistemas o componente *Model* é apresentado na Figura 22. O subsistema *Data Collect and Analyze* contém cinco objetos. O objeto *Data Buffer* armazena e disponibiliza os dados brutos fornecidos pelos sensores no objeto *Raw Data*.

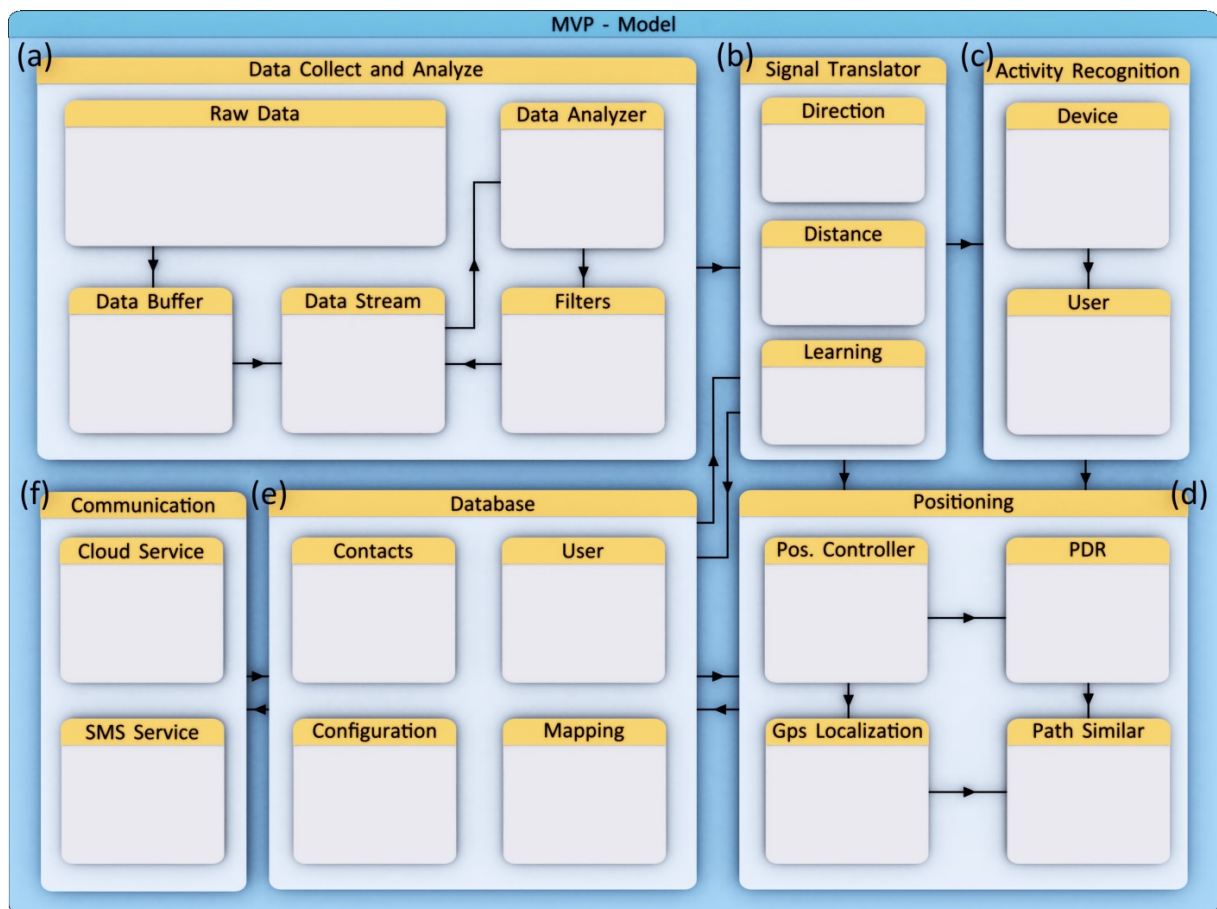


Figura 22 - Componente *MVP-Model* com o fluxo de dados entre os subsistemas (a) *Data Collect and Analyze*, (b) *Signal Translator*, (c) *Activity Recognition*, (d) *Positioning*, (e) *Database* e (f) *Communication*.

O objeto *Data Stream* faz a segmentação dos dados contidos no *Data Buffer*, alinha esses dados transportando todos para um mesmo sistema de referência, aplica os filtros do objeto *Filters*, selecionados pelo objeto *Data Analyzer*, e disponibiliza o resultado para uso no sistema. O objeto *Data Analyzer* também é responsável por registrar os dados em arquivos e fornece-los, quando solicitado pelo *Presenter*, para o componente *View* apresentá-los graficamente.

O subsistema *Data Collect and Analyze* ao ser inicializado entra em um ciclo contínuo que fornece o fluxo de dados necessário para o reconhecimento da atividade realizada pelo usuário em um determinado momento. Posteriormente, através das informações obtidas, o posicionamento do usuário é estimado e apresentado ao usuário.

O objeto *Activity Recognition* é responsável por inferir a posição em que o dispositivo se encontra (bolso, mão, em uso, imóvel), bem como a atividade do usuário (andando, parado, correndo).

O *Activity Recognition* auxilia o objeto *Positioning Controller* do subsistema *Positioning* a decidir naquele momento, qual o melhor processo para inferir o posicionamento do usuário, se através da localização por GPS ou pelo PDR.

O objeto *Gps Localization* estima a posição do usuário empregando somente o GPS, enquanto o objeto *Pedestrian Dead Reckoning* utiliza uma estratégia específica para a localização em ambientes fechados, baseada em técnicas de navegação inercial.

Para estimar a posição do usuário o objeto *Pedestrian Dead Reckoning* faz uso das inferências de distância e direção realizadas pelo subsistema *Signal Translator*.

O objeto *Learning* contido no subsistema *Signal Translator* executa a estimativa do tamanho dos passos do usuário utilizando para isso os dados fornecidos pelo GPS nos momentos da utilização do sistema em que o mesmo estiver com uma boa precisão. Através dessa estratégia o sistema pode ser adaptado automaticamente para qualquer usuário. Além disso o cadastro do usuário contém os seus dados como, por exemplo, a sua altura que pode ser consultada para o cálculo dos resultados.

Para as estimativas fornecidas pelo subsistema *Activity Recognition* é utilizado um algoritmo de sincronização temporal dinâmico DTW (*Dynamic Time Warping*) que empregará dados cadastrados previamente. A coleta desses dados poderá ser realizada em um sistema a parte ou pelo próprio sistema através de informações solicitadas ao usuário.

O resultado fornecido pelo objeto *Pedestrian Dead Reckoning* é passado para o objeto *Path Similar* que fará as correções de posição necessárias para minimizar os erros acumulados no decorrer do tempo. Lembrando que o mapa comparativo que é utilizado por esse objeto,

não é uma planta arquitetônica da construção, mas sim uma estrutura de dados, armazenada antecipadamente, que representa as relações entre os locais e a suas posições.

Em resumo, o componente *Model* receberá os dados dos sensores, fará a estimativa da atividade do usuário, decidirá a estratégia para o cálculo da posição e realizará os devidos ajuste para uma melhor precisão dos resultados. Além disso, ele ficará a cargo do armazenamento dos dados e da comunicação entre o usuário e os contatos.

4.6. Considerações Finais

No presente trabalho foram aplicados os conceitos de Navegação Inercial e de Realidade Aumentada para o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos moveis com o sistema operacional Android. Esse aplicativo implementa a arquitetura proposta utilizando o padrão MVP e permite que o usuário navegue ou acompanhe a navegação de um contato que se encontre tanto ao ar livre como em um ambiente fechado.

O aplicativo desenvolvido pode ser utilizado como ferramenta de coleta e análise de dados para aperfeiçoamento das estratégias usadas pelo sistema de navegação. Isso porque, o usuário poderá configurar, em tempo de execução, quais os modelos matemáticos serão utilizados, bem como visualizar o gráfico dos dados capturados e os resultados provenientes da utilização desses. Espera-se, portanto, que o aplicativo sirva não só como um sistema de compartilhamento de localização, mas também como um instrumento que auxilie no desenvolvimento e aprimoramento dessa e de futuras pesquisa nessa área.

Capítulo 5

Re:for.me - Detalhes de Implementação

5.1. Introdução

Esse capítulo apresenta a estrutura de arquivos e os detalhes de implementação empregados na criação do aplicativo para dispositivos móveis com o sistema operacional Android. O aplicativo implementa a arquitetura proposta para localização de usuários em ambientes externos e internos e serve de parâmetro para a comprovação da viabilidade da estratégia proposta. Um diagrama de atividades é apresentado na Figura 23 mostrando o fluxo dos dados desde o acionamento do aplicativo até a atualização da localização do usuário.

O aplicativo foi desenvolvido para a plataforma Android utilizando nos algoritmos os dados fornecidos pelo GPS, sensores inerciais embarcados no dispositivo e estruturas de dados que representam os possíveis percursos nos ambientes.

Na versão atual o aplicativo permite: o cadastramento do usuário e dos contatos em um banco de dados, troca de informações através do envio de SMS (*Short Message Service*) entre os dispositivos móveis, visualização das localizações estimadas em mapa digital e Realidade Aumentada, visualização em gráficos temporais dos dados coletados pelos sensores, visualização em gráficos temporais dos filtros selecionados aplicados aos dados coletados (*low pass*, contador de picos e contador de passos) e a visualização comparativa, em mapa digital, das posições fornecidas pelo GPS e as posições inferidas pelo sistema com e sem a aplicação do Path Similar. Além disso, o aplicativo permite a coleta dos dados dos sensores de forma sincronizada, apresentando os mesmos na forma de gráficos, bem como disponibilizando-os em arquivos de texto. Dessa forma é possível visualizar e analisar os dados imediatamente após serem adquiridos, ou enviá-los para serem empregados em outros aplicativos.

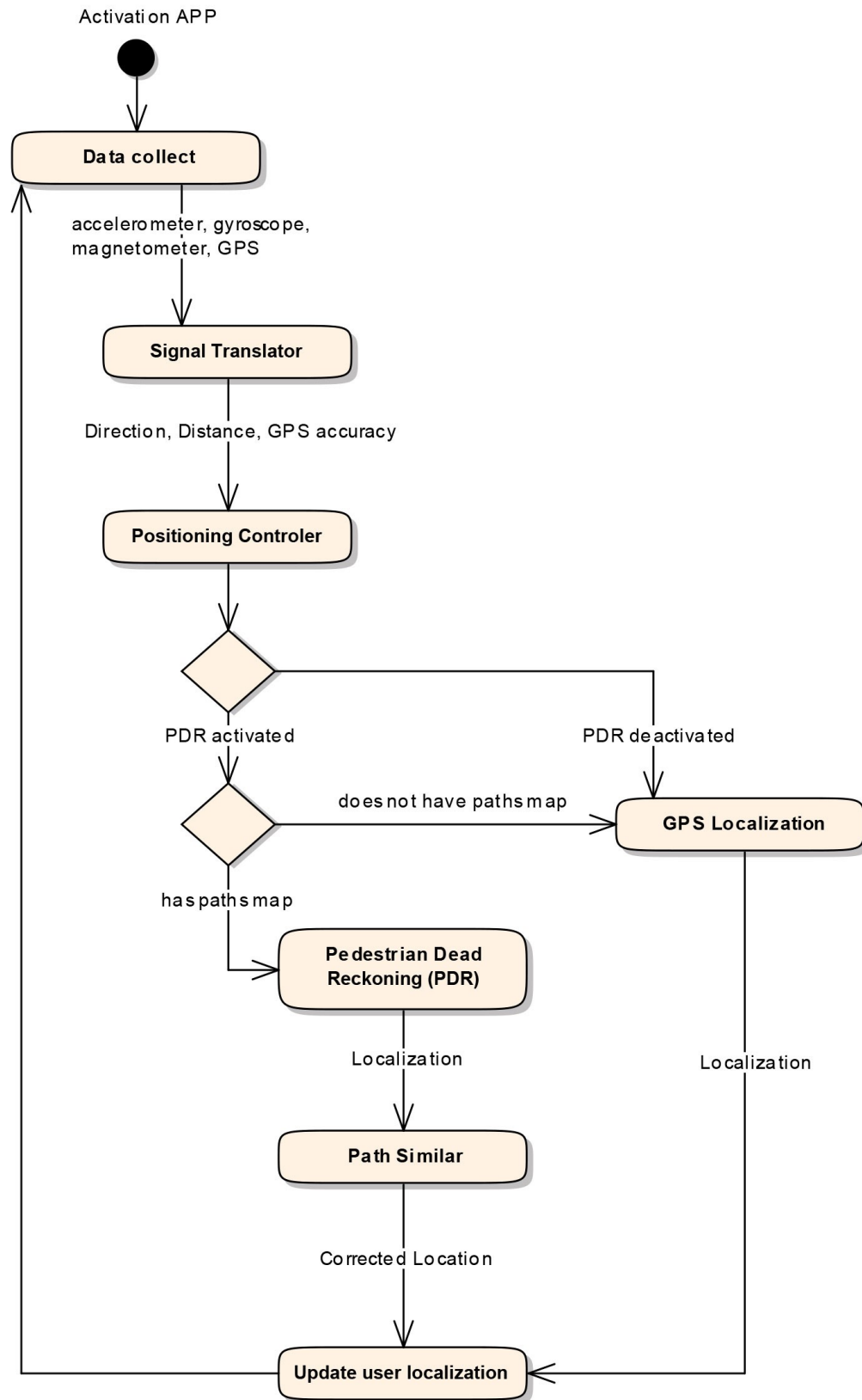


Figura 23 - Fluxo de atualização da localização do usuário.

5.2. Estrutura de arquivos

Para a construção do aplicativo foi empregada a linguagem de programação Java, sendo utilizado para esse fim os Ambientes de Desenvolvimento Integrado (APIs) Eclipse e Android Studio. No uso do padrão de desenvolvimento Orientado a Objetos foram criadas mais de 270 classes distribuídas em pacotes. Esses pacotes foram organizados em 3 módulos e são apresentados na Figura 24. O módulo “Reforme” corresponde ao núcleo central do aplicativo e é responsável pelas principais funcionalidades do sistema. O módulo “AR” fornece toda a estrutura necessária para o funcionamento do Sistema de Realidade Aumentada e o módulo “Reusable” contém as funções mais requisitadas do sistema, permitindo assim a sua reutilização.

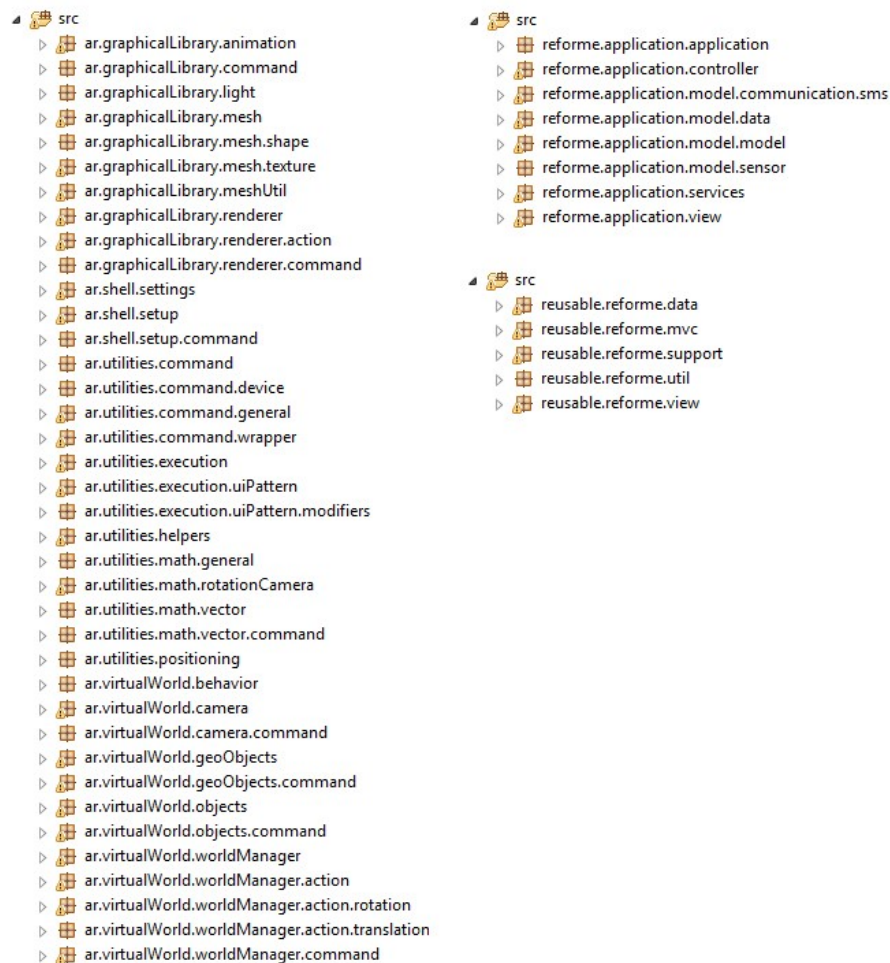


Figura 24 - Organização em pacotes do aplicativo Re:for.me.

5.3. Abordagem para ambiente externo

Para a localização em ambientes externos a abordagem empregada no aplicativo, e sugerida na arquitetura, foi a utilização do GPS. A localização outdoor é acionada quando o módulo PDR está desativado ou quando ele está ativo e nenhum mapa de caminhos é encontrado para aquela região, como pode ser visto na Figura 23. Porém, o GPS possui algumas limitações e, sendo assim, uma estratégia, sem a utilização de um Sistema de Navegação Inercial, foi criada para minimizar esse problema e é descrita a seguir.

O aplicativo Re:for.me permite solicitar a posição de contatos selecionados na rede de relacionamento do usuário. Essa solicitação é feita através do envio de um SMS ao contato, que ao recebe-lo é interceptado pelo aplicativo e respondido com a posição, expressa em latitude e longitude. Se, por algum motivo, o GPS não conseguir uma posição com uma precisão de até 20 metros, uma rotina é acionada para que uma nova tentativa seja feita em intervalos de 1 minutos após a solicitação. Se ao termino de 10 tentativas o GPS ainda não tenha obtido uma posição válida, uma mensagem de “Contato Indisponível” é enviada por SMS ao requerente.

São três os principais motivos para que a rotina implementada seja acionada: o primeiro ocorre quando o usuário está em trânsito por uma região onde o sinal de satélite está sendo bloqueado, nesse caso, provavelmente, um posicionamento válido será obtido após algumas tentativas do sistema, e a solicitação de posicionamento será respondida a contento. O segundo motivo seria a do contato se encontrar em um ambiente fechado, por exemplo, no interior de uma construção, nesse caso um posicionamento válido não seria obtido pelo GPS, e assim sendo, é solicitado ao usuário uma entrada manual da sua localização. O terceiro motivo de ativação da rotina de acionamento repetitivo do GPS ocorre quando o usuário desliga, nas configurações do dispositivo, a opção de localização por GPS. Nesse caso a rotina interrompe as novas tentativas de aquisição da posição e envia de imediato a mensagem de “Contato Indisponível”.

A estratégia descrita acima ainda conta com uma opção, configurada pelo usuário, que repete todo o procedimento após ter se passado uma hora do termino das 10 tentativas consecutivas, exceto no caso de o GPS estar desligado.

5.4. Coleta de dados dos sensores

Para a coleta dos dados dos sensores foi criado um procedimento onde a cada período de tempo um conjunto de dados é coletado e gravado em um arquivo de texto no formato apresentado na Figura 25. Esses dados são as informações fornecidos por todos os sensores disponíveis no dispositivo, incluindo o GPS. Um conjunto de dados só é disponibilizado quando as informações de todos os sensores são adquiridas, isto é, os dados de um conjunto são coletados com a menor diferença de tempo que o dispositivo pode fornecer, portanto, a taxa de atualização do sistema, incluindo a do PDR, depende do hardware do dispositivo onde o aplicativo está sendo executado.

Procedendo dessa forma é possível a criação de gráficos comparativos entre os diversos sensores em um determinado tempo, pois, cada conjunto de dados possui os dados de todos os sensores adquiridos naquele mesmo período. O Apêndice A apresenta como se usa, no aplicativo desenvolvido, a funcionalidade de coleta e visualização dos dados dos sensores.

```
Accelerometer: 1 values[0] values[1] values[2] accuracy timestamp
Gyroscope: 4 values[0] values[1] values[2] accuracy timestamp
MagneticField: 2 values[0] values[1] values[2] accuracy timestamp
Gravity: 9 values[0] values[1] values[2] accuracy timestamp
LinearAccelerometer: 10 values[0] values[1] values[2] accuracy timestamp
RotationVector: 11 values[0] values[1] values[2] accuracy timestamp
Orientation: 3 values[0] values[1] values[2] accuracy timestamp
GPS: Gps Altitude Bearing Latitude Longitude Precision Time Velocity
#
1 -0.142455 1.769315 10.15381 3 441318108898000
4 -0.07689917 -0.076526135 0.118208475 3 441318107005000
2 -18.91 14.89 6.25 3 441318104167000
9 -0.24143173 1.7658663 9.64333 3 441318108898000
10 0.09897673 0.0034487247 0.5104799 3 441318108898000
11 0.086105615 -0.03021308 -0.45396057 -9 441318108898000
3 54.367653 -10.373735 -1.4341654 3 441318108898000
gps NaN 0.0 -18.9134703197031 -48.27331617455926 12.0 1433273745999 0.0
#
1 -0.15322891 1.7812861 10.201694 3 441318258190000
4 0.11771172 0.09880328 0.048203215 3 441318267497000
2 -17.4 14.76 6.7 3 441318264110000
9 -0.29546827 1.6887279 9.655635 3 441318258190000
10 0.14223936 0.092558265 0.54605865 3 441318258190000
11 0.08409342 -0.025058629 -0.4447505 61 441318258190000
3 53.18359 -9.915891 -1.7527385 3 441318258190000
gps NaN 0.0 -18.9134703197031 -48.27331617455926 12.0 1433273745999 0.0
#
1 -0.2657564 1.8830396 10.080787 3 441318380229000
4 0.09374327 0.12703279 0.07243799 3 441318388530000
2 -17.9 14.76 5.1 3 441318387920000
9 -0.3221456 1.7731855 9.639627 3 441318380229000
10 0.056389213 0.1098541 0.44115925 3 441318380229000
11 0.08863616 -0.025678905 -0.44357637 -108 441318380229000
3 53.07761 -10.417212 -1.9140489 3 441318380229000
gps NaN 0.0 -18.9134703197031 -48.27331617455926 12.0 1433273745999 0.0
#
1 -0.4429273 1.7130513 9.794679 3 441318488384000
4 -0.024701208 -0.15455677 -0.0011011437 3 441318483013000
2 -17.9 14.76 7.2 3 441318483928000
9 -0.32511246 1.8278694 9.629309 3 441318488384000
10 -0.11781484 -0.114818096 0.16536999 3 441318488384000
11 0.091127105 -0.027161673 -0.44701603 126 441318488384000
3 53.542294 -10.74223 -1.9337318 3 441318488384000
gps NaN 0.0 -18.9134703197031 -48.27331617455926 12.0 1433273745999 0.0
#
```

Figura 25 - Parte do arquivo de texto gerado na coleta de dados dos sensores.

5.5. Abordagem para ambiente interno (indoor)

A abordagem para ambientes internos sugerida na arquitetura é baseada em um Sistema de Navegação Estimada para Pedestre (PDR - *Pedestrian Dead Reckoning*). Na literatura atual pode ser encontrada várias estratégias que tratam desse assunto, o que difere uma da outra são os modelos matemáticos e computacionais utilizados no tratamento dos dados dos sensores para se inferir com maior precisão a distância e direção do deslocamento do usuário. Como o objetivo principal desse trabalho é a proposta de uma estratégia com a qual se possa desenvolver sistemas de localização em smartphones de forma sólida e que permita a análise e visualização, no próprio dispositivo, das modelos adotadas, optou-se pela utilização de abordagens simplificadas que demonstrassem a viabilidade e consistência da arquitetura.

No componente *MVP-Model* da arquitetura, o subsistema PDR através dos dados de direção e deslocamento, fornecidos pelos subsistemas *Data Collect and Analyze* e *Signal Translator*, infere a localização do usuário. No aplicativo isso é feito executando as etapas apresentadas na Figura 26 e descritas nos itens 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4 e 5.4.5.

5.5.1. Coleta de um bloco de dados

Os dados brutos coletados dos sensores são organizados em blocos de tamanho configurável, desta forma é possível definir o período em que uma posição é disponibilizada para o sistema. Na arquitetura apresentada o objeto *Data Buffer* do subsistema *Data Collect and Analyze* tem a responsabilidade de armazenar os conjuntos de dados para serem utilizados no *Data Stream* na produção dos blocos que são consumidos pelo subsistema *Signal Translator*.

5.5.2. Contagem de passos

Para a detecção dos passos do usuário, independentemente da posição do dispositivo no corpo humano, os dados do sensor sintético *Linear Acceleration* são utilizados. Como esses dados são fornecidos em coordenadas relativas uma mudança para coordenadas absolutas foi

necessária. Isso é feito com a utilização dos dados fornecidos pelo sensor sintético *Rotation Vector*.

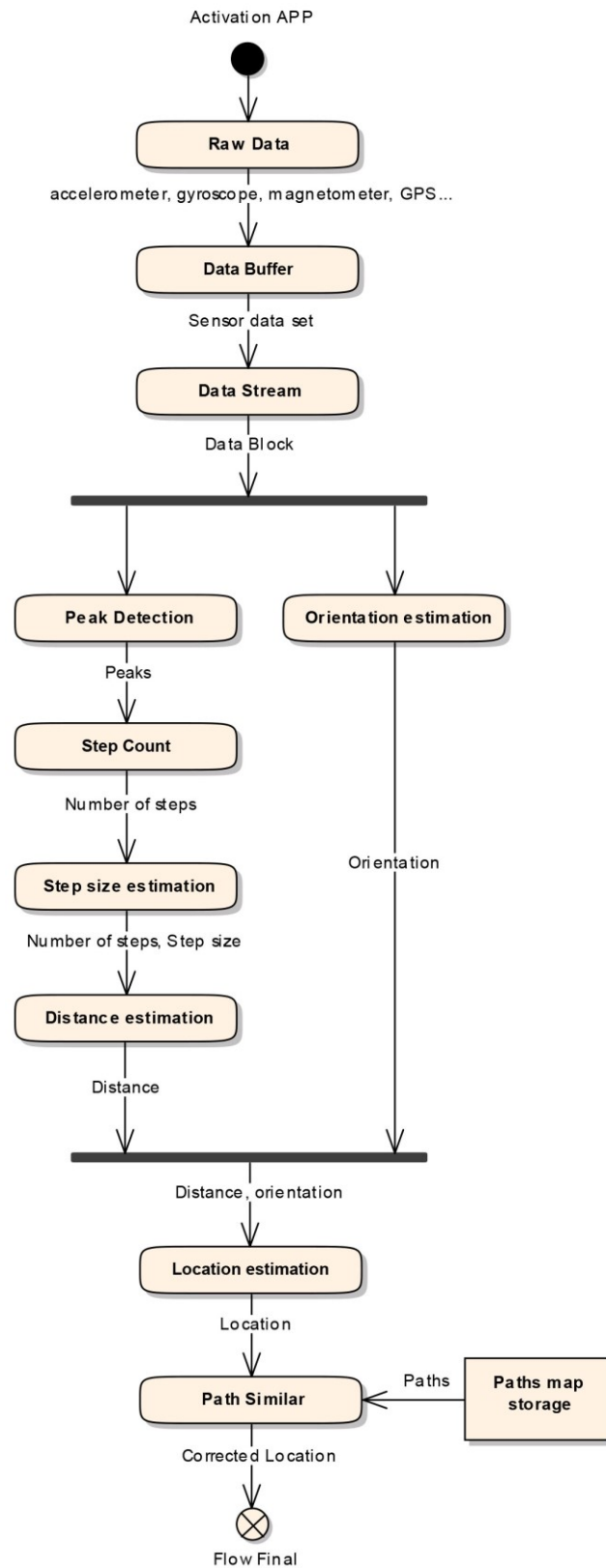


Figura 26 - Fluxo para estimar a localização com o PDR

Pela observação da movimentação do corpo humano durante cada passo é possível verificar uma variação da aceleração tanto no sentido vertical (cima/baixo) como no horizontal (frente/atrás na direção do andar). Essas variações podem ser percebidas pelo sensor de aceleração e utilizadas na contagem dos passos. Os melhores resultados foram obtidos pela análise dos dados adquiridos para o eixo Z, ou seja, o eixo que registra os movimentos de subir e descer do corpo humano. A Figura 27 mostra um *screenshot* do aplicativo onde é apresentado, em coordenadas absolutas, o gráfico temporal dos dados fornecidos para o eixo Z do sensor de aceleração.



Figura 27 - Screenshots do aplicativo Re:for.me onde é apresentado o gráfico temporal (ms) do eixo Z do sensor Accelerometer (m/s²) em coordenada absoluta.

A contagem dos passos é feita em duas etapas: detecção dos picos e detecção de passos. O algoritmo apresentado abaixo é usado para executar a primeira etapa [Kim, 1996].

```
peakCount  $\leftarrow$  0
for all value[k] in the buffer do
    forwardSlope  $\leftarrow$  value[k + 1] – value[k]
    backwardSlope  $\leftarrow$  value[k] – value[k - 1]
    if forwardSlope < 0 AND backwardSlope > 0 then
        peak[peakCount]  $\leftarrow$  value
        peakCount  $\leftarrow$  peakCount + 1
    end if
end for
```

O resultado da aplicação desse algoritmo é a detecção de todos os picos contidos no bloco analisado.

O algoritmo apresentado abaixo é usado para executar a segunda etapa e utiliza os picos detectados na etapa anterior.

```
stepCount  $\leftarrow$  0
SAFETY_THRESHOLD  $\leftarrow$  1.6
MIN_TIME  $\leftarrow$  200
timeBetweenPeaks  $\leftarrow$  minTime + 1
peakTimeAnt  $\leftarrow$  0
for all peak[k] in the peak do
    if peak[k] > SAFETY_THRESHOLD AND
    timeBetweenPeaks > MIN_TIME then
        step[stepCount]  $\leftarrow$  peak[k]
        stepCount  $\leftarrow$  stepCount + 1
        timeBetweenPeaks  $\leftarrow$  peakTime – peakTimeAnt
        peakTimeAnt  $\leftarrow$  peakTime
    end if
```

end for

A constante *SAFETY_THRESHOLD* é a aceleração (m/s^2) mínima necessária para que o pico seja considerado um passo e foi estimada empiricamente. A constante *MIN_TIME* é o tempo (milissegundos) mínimo entre a ocorrência de dois picos para que esse seja considerado um passo e também foi estimada empiricamente. A constante *MIN_TIME* é necessária para não considerar os picos gerados pelos movimentos secundários registrados devido a movimentação, por exemplo, da mão do usuário ao segurar o dispositivo.

Na conclusão da segunda etapa é obtido o número de passos realizados na análise daquele bloco de dados dos sensores. A Figura 28 destaca os picos e os passos detectados em um teste onde o usuário andou oito passos segurando o telefone na mão a sua frente. O teste foi repetido cinco vezes com o mesmo resultado.



Figura 28 - Screenshots do aplicativo Re:for.me onde é apresentado o gráfico temporal (ms) do eixo Z do sensor Linear Accelerometer (m/s^2) em coordenada absoluta juntamente com a detecção dos picos (linhas amarelas com marca em verde) e dos passos (linhas em magenta com círculos vermelhos).

5.5.3. Estimativa do tamanho do passo

A maneira mais simples de estimar o tamanho do passo de uma pessoa é através da proporção do seu passo e a sua altura. Para os homens o passo mede aproximadamente 41,5% da sua altura e para mulheres o passo mede cerca de 41,3% da sua altura [ALL SCIENCE, 2016] [WALKING, 2016].

O aplicativo desenvolvido até o momento usa essa abordagem, mas a arquitetura proposta prevê a criação do subsistema *Activity Recognition* onde uma inteligência pode ser implementada para auxiliar na precisão da estimativa do tamanho do passo. Além disso o objeto *Learning* do subsistema *Signal Translator* pode utilizar o GPS em determinados momentos para “aprender” o tamanho do passo do usuário.

5.5.4. Definição da direção do deslocamento

Através do sensor sintético *Rotation Vector* é possível calcular o vetor de orientação (atitude) do dispositivo. Esse vetor é gerado já no sistema de coordenada absoluta onde o *Pitch* é a rotação em torno do eixo X, o *Roll* é a rotação entorno do eixo Y e o *Azimuth* é a rotação entorno do eixo Z. Esse último é o de maior relevância pois fornece a direção do dispositivo em relação ao norte magnético da terra. O *Azimuth* varia de $-\pi$ a π (-180 a 180 graus) o *Pitch* de $-\pi/2$ a $\pi/2$ (-90 a 90 graus) e *Roll* de $-\pi$ a π (-180 a 180 graus).

Como os dados de todos os sensores são adquiridos ao mesmo tempo pelo subsistema *Data Collect and Analyze*, quando um passo é detectado a direção do movimento naquele momento também já está determinada.

Com o tamanho do passo, a quantidade de passos e a direção do movimento já estimados é possível calcular o vetor de deslocamento do bloco de dados analisado, isto é, é possível através de trigonometria básica calcular o vetor resultante dos deslocamentos detectados em um determinado bloco de dados dos sensores.

5.5.5. *Aplicação da técnica Path Similar*

Devido a imprecisão no uso de sensores em um Sistema de Navegação Inercial foi necessário a adoção de uma abordagem que minimizasse os erros acumulados no processo. A técnica desenvolvida pelos autores foi nomeada de Path Similar e se baseia na comparação das posições e direções obtidas pelo PDR, com uma estrutura de dados que contém os possíveis caminhos do ambiente analisado. A técnica Path Similar foi desenvolvida a partir do estudo do algoritmo CompAcc [CONSTANDACHE, 2010] e ainda está em processo de aprimoramento. O resultado da sua aplicação pode ser visualizado na Figura 29.

Para os testes com o aplicativo foi criado um mapa de caminhos cujas características dos pontos de cruzamento ou mudança de direção de um percurso foram capturados sobre o Google Maps e armazenado no sistema. As posições intermediárias entre os cruzamentos são geradas de forma a obter uma sequência de posições e direcionamentos. Cada ponto do mapa de caminhos contém as informações de latitude, longitude e direção em relação ao norte magnético. Esse teste foi executado em ambiente externo para que o GPS pudesse ser usado como parâmetro de comparação, mas o processo é o mesmo para ambientes internos. Foram registrados os quatro pontos extremos de um quarteirão como sendo os pontos de cruzamento do mapa de caminhos. O sistema, a partir das informações de latitude e longitude desses quatro pontos, calcula os pontos intermediários entre eles com uma distância de 30cm entre um e outro, assim, foram gerados quatro vetores representando cada caminho do mapa e contendo uma sequência de direção (em graus) em relação ao norte magnético. A partir daí, ao término da análise de cada bloco de dados dos sensores, o vetor resultante é comparado com os vetores registrados no mapa de caminhos. Isso é feito com a aplicação de um algoritmo que mede a similaridade DTW (Dynamic Time Warping) entre a sequência registrada no bloco e as sequências do mapa de caminhos.

O caminho com a melhor similaridade DTW é selecionado como sendo o caminho onde o usuário possivelmente se encontra e o ponto nesse caminho que for mais próximo da posição resultante do bloco de dados dos sensores é selecionado como sendo a posição

correta do usuário. O processo se repete para os próximos blocos e é em parte exemplificado pela Figura 30.

Executada da forma descrita, a abordagem *Path Similar* faz uma correção de deslocamento a cada iteração de leitura dos sensores, minimizando os erros inerentes ao processo. Na Figura 29 é possível detectar onde as maiores correções foram realizadas. Elas ocorrem onde é possível visualizar um intervalo maior na sequência de esferas douradas mostrada na imagem.

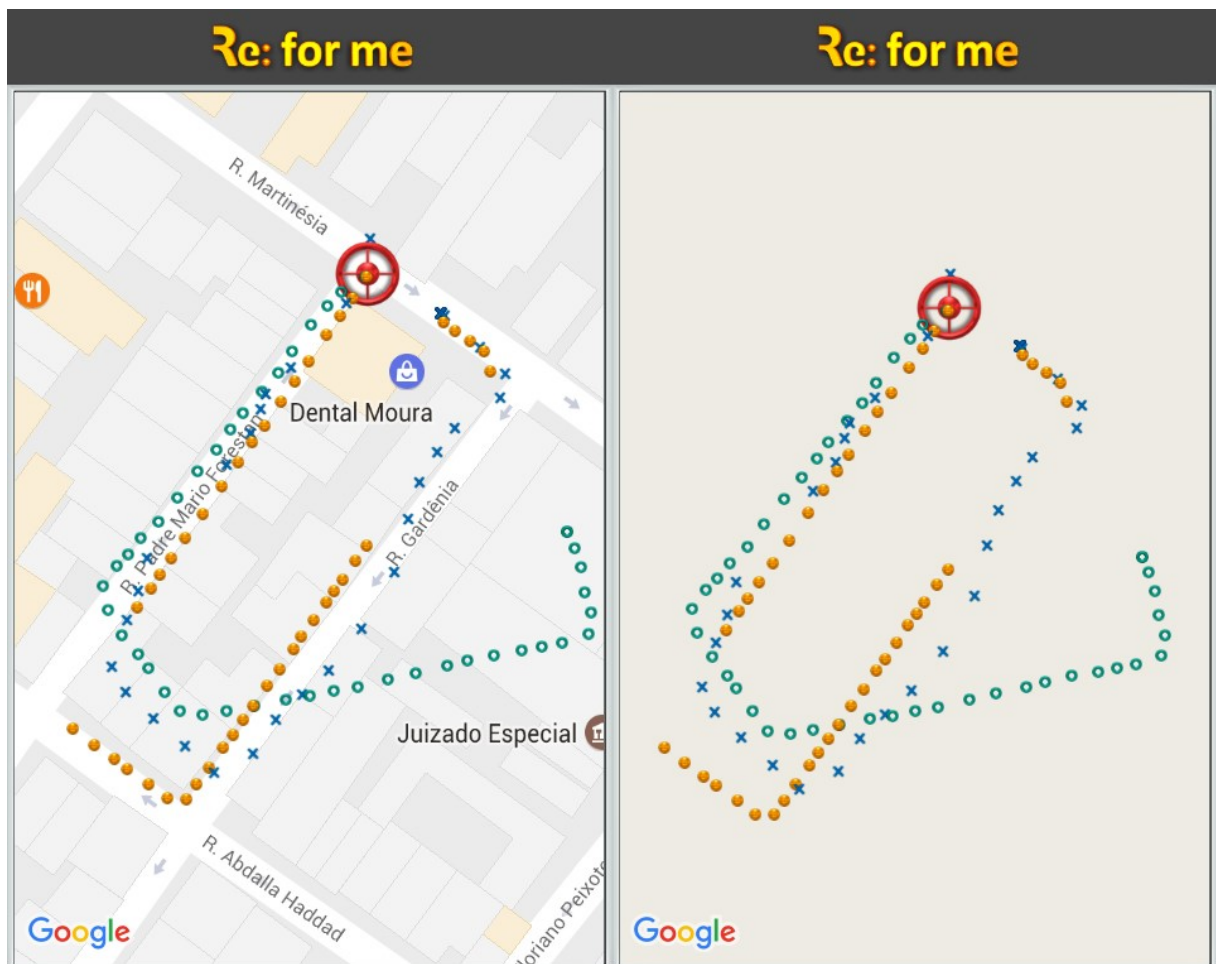


Figura 29 - Screenshots do aplicativo Re:for.me onde é possível comparar os resultados obtidos pelo GPS (X em azul), sensores inerciais (círculos verdes) e a abordagem *Path Similar* (esferas douradas), ao se caminhar em torno de um quarteirão. O ponto em vermelho registra o início do deslocamento.

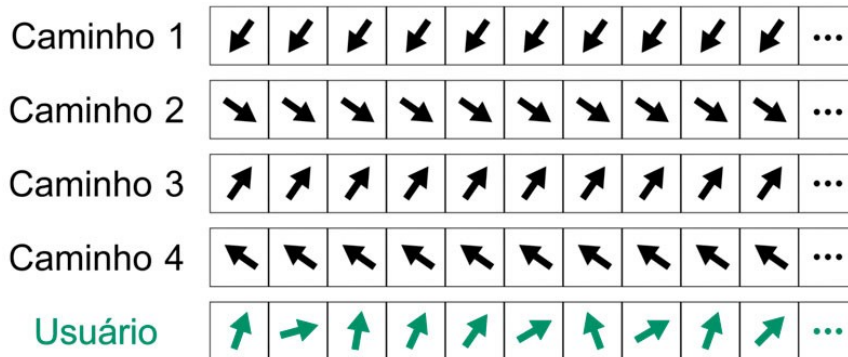


Figura 30 - Representação gráfica dos vetores do mapa de caminho e de um vetor resultante para um usuário em movimento. O resultado esperado na aplicação do algoritmo DTW seria o caminho 3.

5.6. Realidade Aumentada

Para a implementação do Sistema de Realidade Aumentada utilizado no aplicativo foi realizada uma pesquisa dos sistemas similares disponíveis como *código aberto* e através da análise dos sistemas encontrados foi estruturada uma arquitetura e criada uma prova de conceito somente para teste da Realidade Aumentada. Os diagramas de representação da arquitetura e as responsabilidades e dependências dos pacotes são apresentados nas Figuras 31 a 35.

A versão atual do aplicativo utiliza a implementação da prova de conceito da Realidade Aumentada, mas em trabalhos futuros essa implementação sofrerá uma refatoração com o objetivo de otimização e melhor adequação as necessidades do sistema.

5.7. Considerações Finais

Através do aplicativo desenvolvido é possível uma avaliação da arquitetura implementada, bem como a sua utilização para a coleta dos dados dos sensores que serão empregados como parâmetros para uma melhor definição das estratégias a serem usadas em evoluções futuras.

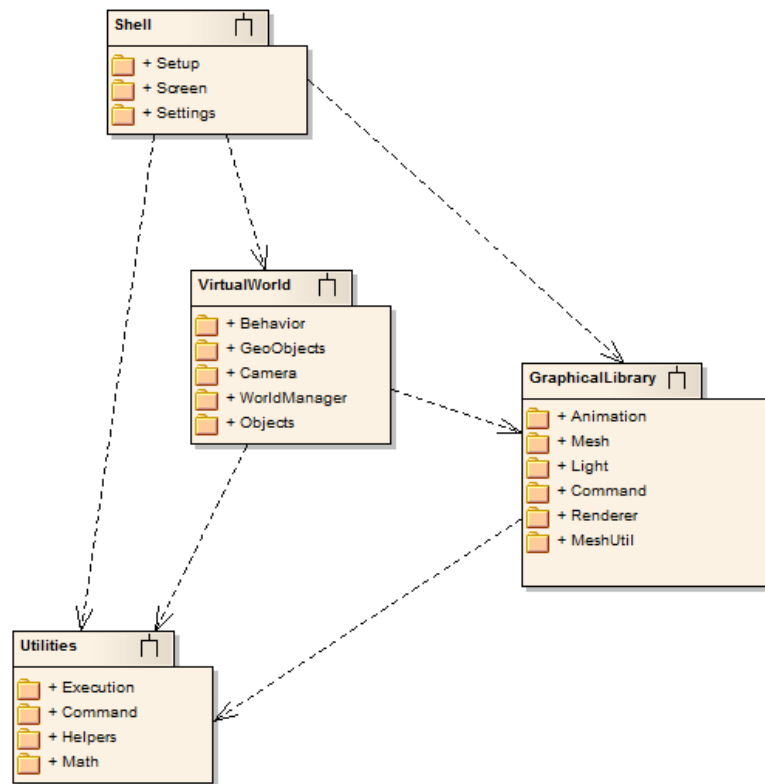


Figura 31 - Arquitetura do aplicativo de Realidade Aumentada.

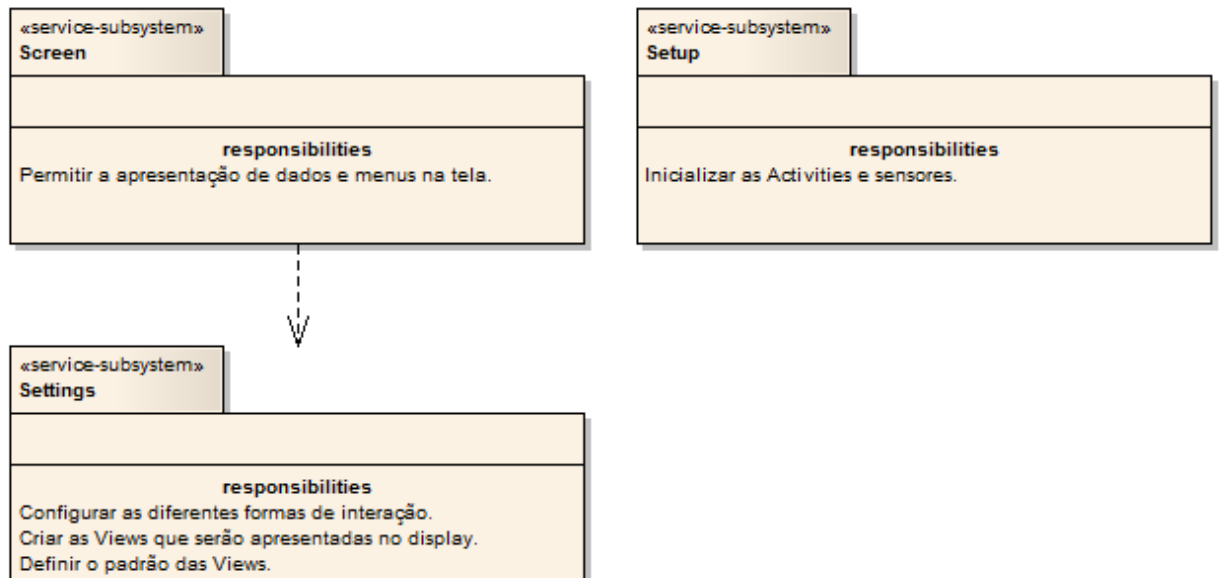


Figura 32 - Responsabilidades e dependências do pacote Shell.

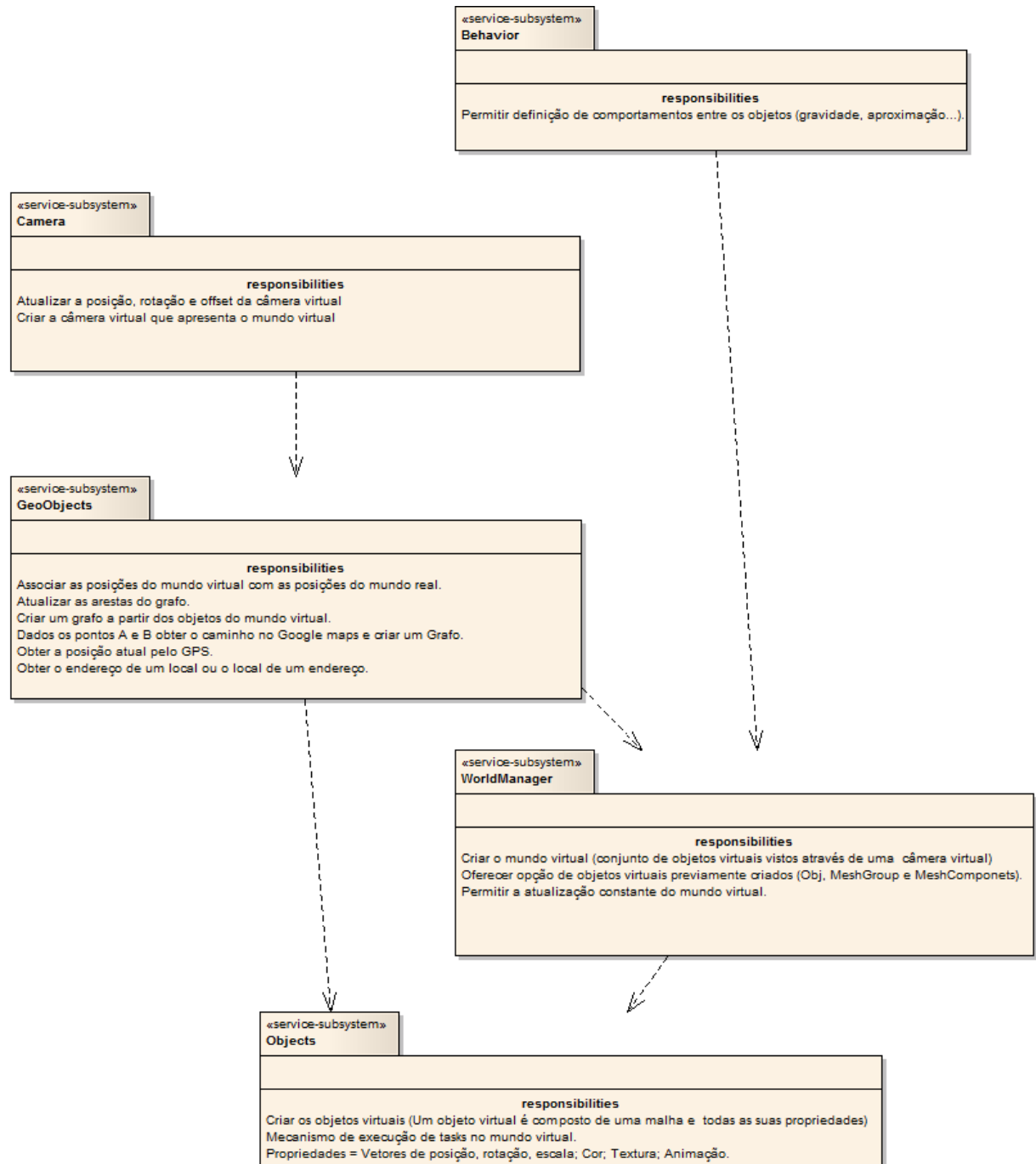


Figura 33 - Responsabilidades e dependências do pacote *VirtualWorld*.

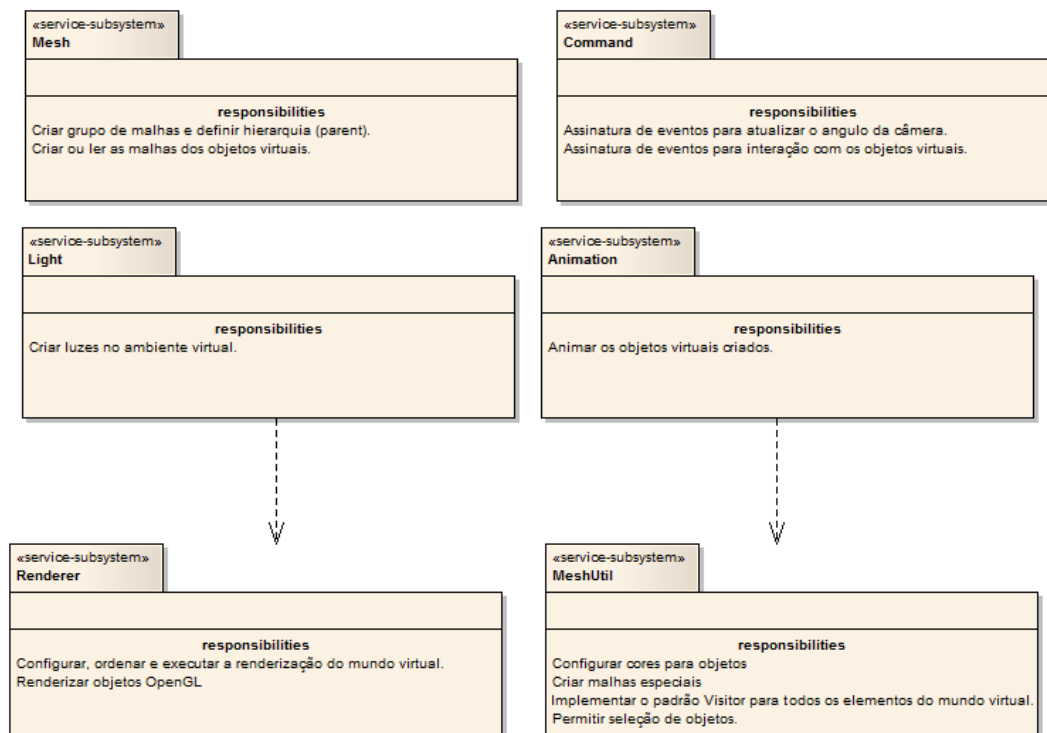


Figura 34 - Responsabilidades e dependências do pacote *GraphicalLibrary*.

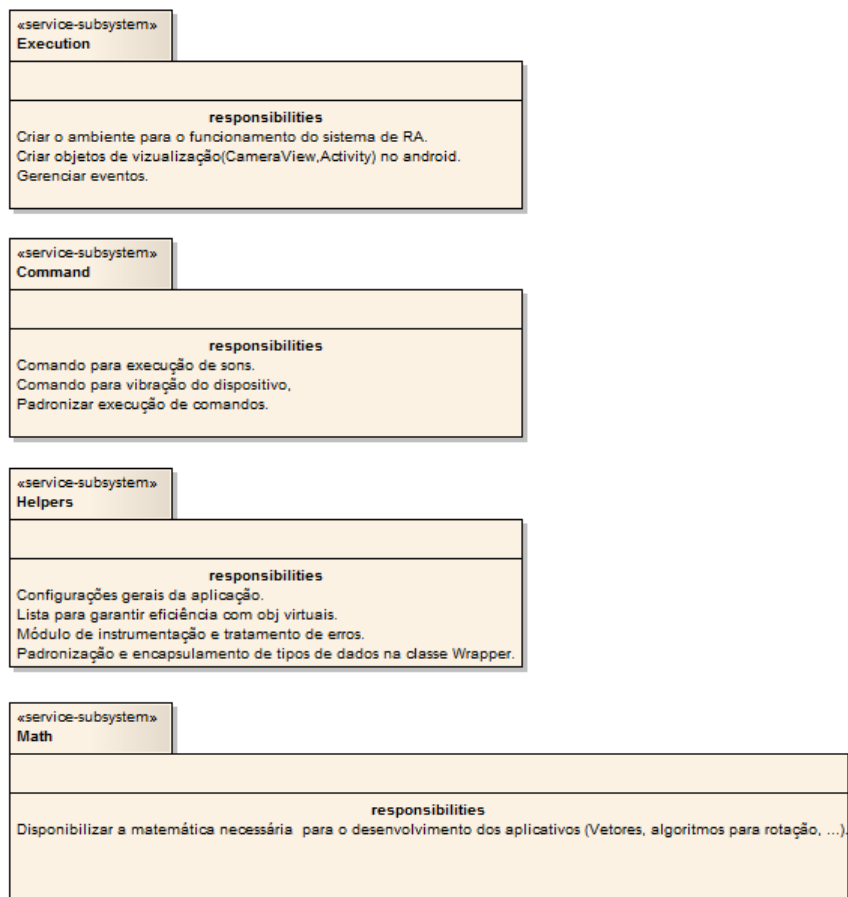


Figura 35 - Responsabilidades e dependências do pacote *Utilities*.

Capítulo 6

Resultados e Discussão

6.1. Introdução

Estão discutidos nesse capítulo os resultados obtidos na utilização do aplicativo desenvolvido. A avaliação realizada foi de fundo exploratório e baseada na experiência pessoal e conhecimento especializado do pesquisador.

6.2. Re:for.me - Estudo de caso das funcionalidades

A fim de avaliar a abordagem desenvolvida, o aplicativo Re:for.me foi testado em duas etapas durante a fase de desenvolvimento. As funcionalidades testadas foram:

- Cadastramento do usuário e dos contatos;
- Envio de pedido de atualização de posição para os contatos ativos;
- Envio da posição atualizada do usuário para os contatos ativos;
- Visualização da posição do usuário e dos contatos no mapa digital e pelo Sistema de Realidade Aumentada; e
- Acompanhamento da movimentação do contato em um intervalo de tempo determinado.

A primeira etapa da avaliação foi realizada com o foco em localização outdoor e contou com a participação de 10 voluntários selecionados em momentos diferentes de forma a coincidir com viagens programadas pelos mesmos ou a sua disposição em usar o aplicativo durante o seu deslocamento entre locais no perímetro urbano.

Para a realização dessa etapa da avaliação foram propostas diversas situações aos participantes que ao termina-las eram entrevistados.

As atividades propostas relacionadas com o cadastramento e a visualização da posição do usuário e dos contatos no mapa digital foram realizadas pelos 10 participantes dessa etapa e nenhuma dificuldade foi relatada. O Apêndice A apresenta a usabilidade do aplicativo e a Figura 36 apresenta *screenshots* do aplicativo em uso.

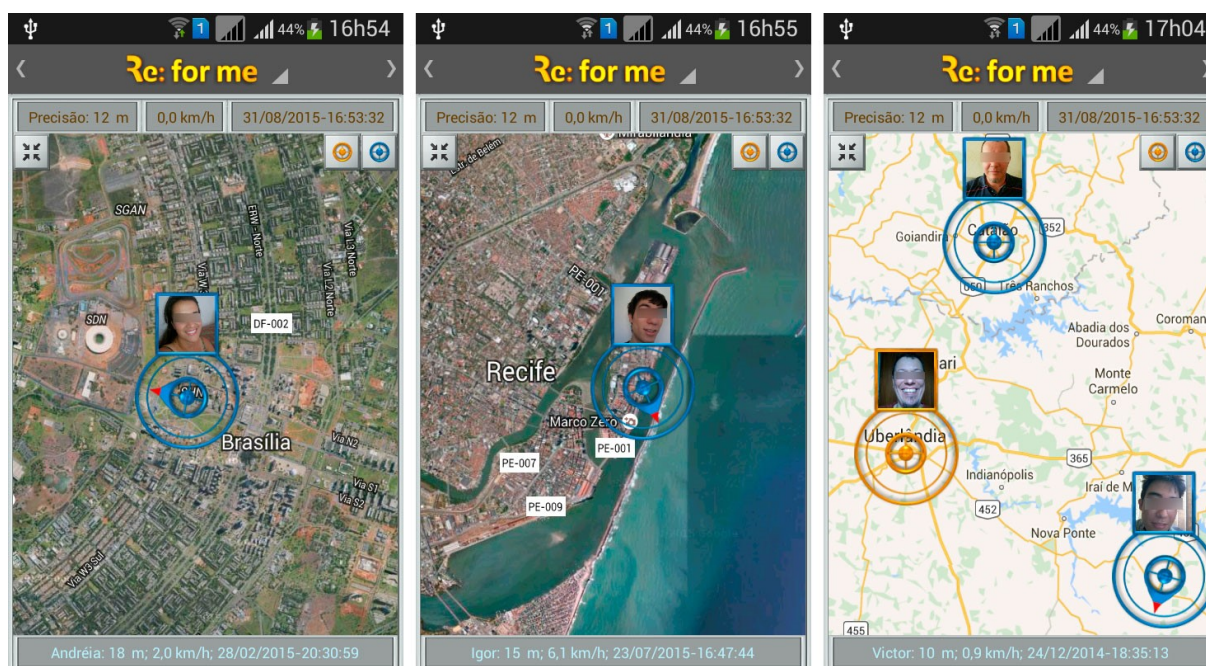


Figura 36 - Apresentação do usuário e contatos no mapa digital.

Para o acompanhamento do deslocamento dos participantes, apresentados na Tabela 3, foi criado um roteiro em que, nas viagens, em determinados horários seria solicitado pelos autores a posição do participante e confirmado a sua localização através de uma chamada telefônica. No caso dos deslocamentos na cidade o participante era orientado para quando saísse do ponto de origem acionasse a funcionalidade de acompanhamento e a partir daquele momento os autores passavam a receber em intervalos regulares a localização dos mesmos.

Todas as avaliações de acompanhamento do deslocamento do participante tiveram resultados semelhantes e as mensagens contendo as informações de localização foram enviadas e recebidas de forma satisfatória, com raras exceções devido à falta de cobertura de telefonia em alguns trechos das rodovias, o que não prejudicou o acompanhamento da trajetória realizada. No perímetro urbano os problemas relatados foram causados não pelo

envio de informações, mas pela incapacidade do GPS de fornecer uma posição válida em alguns locais. Esse comportamento já era esperado e poderá ser minimizado em um trabalho futuro com a implementação do algoritmo *Path Similar* em regiões conhecidas como cânions urbanos.

Tabela 3 - Participantes da avaliação da estratégia usada em ambiente *outdoor* (GPS e troca de informações)

	Deslocamento	Veículo	Distância Percorrida
01	Viagem	Carro	~1.180 Km
02	Viagem	Ônibus	~2.300 Km
03	Viagem	Carro	~145 Km
04	Viagem	Ônibus	~330 Km
05	Viagem	Carro	~110 Km
06	Cidade	Carro	~5 Km
07	Cidade	Ônibus	~11 Km
08	Cidade	Carro	~3 Km
09	Cidade	Carro	~4 Km
10	Cidade	Carro	~4 Km

Para as situações que envolveram o GPS e o envio de informações por SMS duas estratégias foram desenvolvidas para minimizar possíveis falhas:

1. Quando uma atualização de posição é requerida ao GPS, dependendo do modelo do dispositivo e do local onde o usuário se encontra, essa inicialização não consegue ser finalizada ou o tempo gasto para a sua conclusão é tão grande que, na maioria das vezes, o usuário desliga o sistema. Mesmo seguindo as instruções do fabricante do dispositivo, quanto ao uso do GPS, essa situação persiste em alguns modelos. Algumas vezes a reinicialização do sistema operacional do dispositivo soluciona a situação e em outras é preciso colocar o dispositivo em um local aberto por cerca de cinco minutos para se conseguir uma inicialização do GPS. Foi constatado que esse mesmo tipo de problema também ocorre em outros aplicativos de localização como por exemplo, no aplicativo de localização do Google Maps. A Google usa como estratégia para diminuir esse problema, o cadastramento da rede de Wifi(s) existente nas

proximidades. Enquanto o GPS não consegue a sua inicialização, o banco de dados criado é consultado via internet. Desse modo, uma posição aproximada do usuário é apresentada usando-se a posição registrada de algum WiFi localizado pelo dispositivo. Como no aplicativo Re:for.me o uso da internet não é obrigatório, essa dificuldade ainda persiste, mas em versões posteriores uma estratégia similar à usada pelo Google também será implementada.

2. Na versão atual o meio disponível para a troca de informações entre os usuários do aplicativo é através de SMS e, portanto, é dependente da rede de telefonia (Figura 37). Por esse motivo foram relatadas ocasiões em que um pedido de posição foi enviado, mas não foi recebido pelo contato, pois esse se encontrava em uma área sem cobertura e a entrega de SMS não foi concluída. Esse tipo de problema será minimizado ao ser implementada a troca de informações via internet, onde os dois sistemas poderão se complementar e tornar a entrega de informações mais confiável.



Figura 37 - Pedido de posição (esquerda) e envio manual de posição (direita).

Com relação ao Sistema de Realidade Aumentada os participantes mostraram bastante satisfação e não relataram problemas ou dificuldades na sua utilização, preferindo o mesmo à apresentação no mapa digital quando se tratava da localização de contatos nas proximidades. A Figura 38 apresenta um contato sendo visualizado em Realidade Aumentada. A direção onde o contato se encontra pode ser percebida pela posição na tela e a sua distância é proporcional ao tamanho do ícone que contém a imagem do mesmo. A grade apresentada na imagem é apenas uma referência para facilitar o alinhamento do dispositivo com o solo da imagem mostrada.

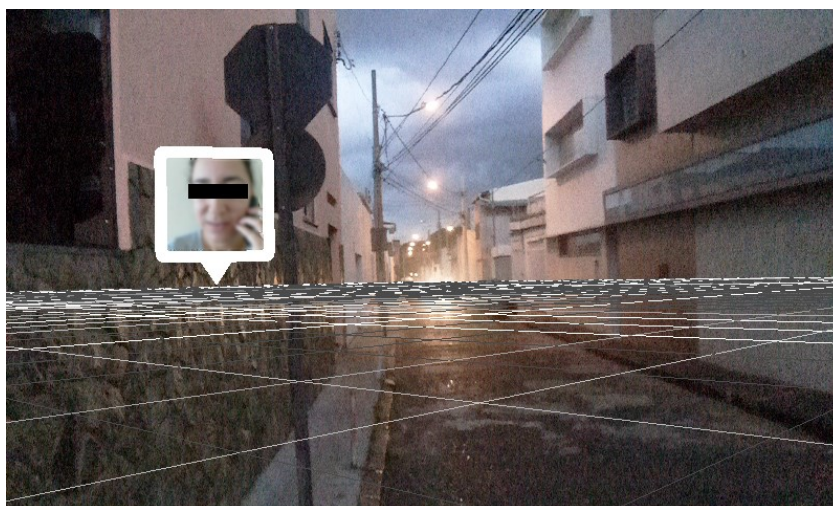


Figura 38 - Sistema de Realidade Aumentada em funcionamento no Re:for.me.

A segunda etapa da avaliação teve como foco a localização indoor e os participantes foram selecionados de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Participantes da avaliação da estratégia usada em ambiente *indoor* (uso do PDR, DTW E Path Similar)

	Sexo	Altura (Cm)	Peso (Kg)	Idade	Caminhos /Passos (64m)	DTW /Passos
01	M	174	53	22	6/098	6/093
02	F	160	55	20	6/121	6/116
03	M	140	29	10	6/120	5/103
04	F	163	56	26	6/116	6/113
05	M	173	84	30	6/096	6/099
06	F	160	53	46	6/104	6/097
07	M	178	93	50	6/114	4/128
08	F	167	59	29	6/108	6/101
09	M	173	84	27	6/106	6/100
10	M	188	87	49	6/98	6/095

Procurou-se selecionar participantes com características variadas em relação ao sexo, altura, peso e idade. O teste foi realizado em ambiente externo para que se pudesse registrar os dados do GPS. Em todo o percurso, de 64 metros, foram distribuídas marcas com distância de um metro entre elas e os participantes foram orientados a percorre-lo transportando três smartphones de modelos diferentes e posicionados no bolso, na mão e em posição de chamada, como mostra a Figura 39.



Figura 39 - Participante da avaliação do PDR e técnica *Path Similar* com o algoritmo DTW. Os destaques mostram a posição dos dispositivos usados e as marcas de distância usadas nas avaliações.

Todos os participantes foram filmados e os dados capturados pelo Re:for.me foram registrados em arquivo para posterior avaliação. Dessa forma foi possível, através da filmagem, saber quantos passos os participantes deram para comparação com os resultados fornecidos pelo Re:for.me, e os devidos ajustes nas estratégias adotadas puderam ser realizados. Os principais ajustes foram em relação aos fatores e constantes usadas nos algoritmos para contagem dos passos e o tamanho dos blocos a serem analisados pelo DTW na definição do caminho a ser usado na técnica *Path Similar*.

Para completar a comprovação da viabilidade do PDR em ambientes internos foi criado um mapa de caminhos para uma pequena extensão de um shopping center. O teste foi

repetido 3 vezes com um mesmo participante e os resultados foram semelhantes. A Figura 40 apresenta a visualização das posições em RA e a Figura 39 contém os *screenshots* do aplicativo. Na Figura 41 é possível perceber que as posições adquiridas somente com os dados dos sensores (círculos verdes) apresentam grandes imprecisões, provavelmente devido a influência de campos magnéticos no ambiente, cujo acúmulo inviabiliza o processo se não for aplicada uma correção de posicionamento. A abordagem *Path Similar* (esferas douradas) procura realizar essas correções e gera um resultado mais próximo da realidade.

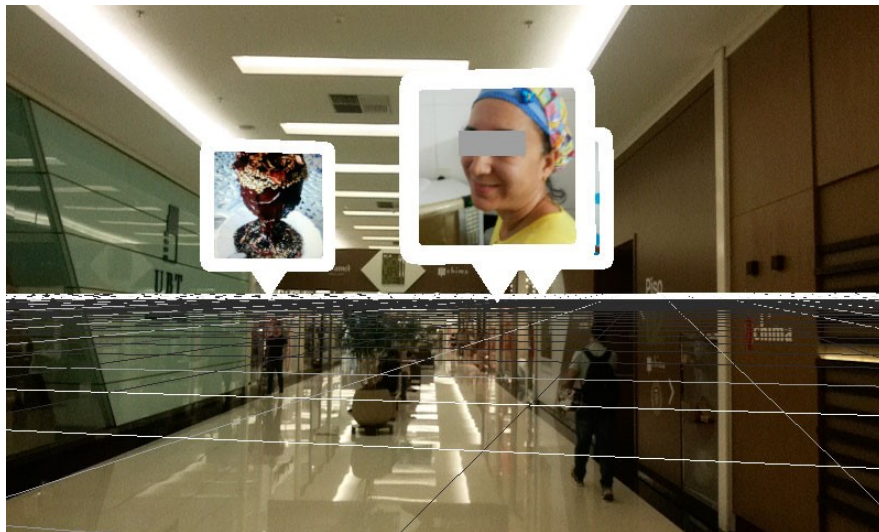


Figura 40 - *Screenshots* em Realidade Aumentada do aplicativo Re:for.me em ambiente fechado. O grid mostrado é apenas um elemento gráfico para facilitar o alinhamento do dispositivo com a imagem da câmera. As molduras com as fotos representam a direção onde se encontra o contato selecionado e pontos de interesse.

Devido a necessidade de cadastramento dos mapas de caminhos para os ambientes internos e pelo fato dessa opção ainda não ter sido implementada, a troca do uso do GPS para o PDR é feita manualmente. O sistema apenas emite um sinal de alerta quando o GPS não consegue uma precisão adequada e se o mapa de caminhos do local já estiver no sistema o usuário tem a opção de acionar o PDR.

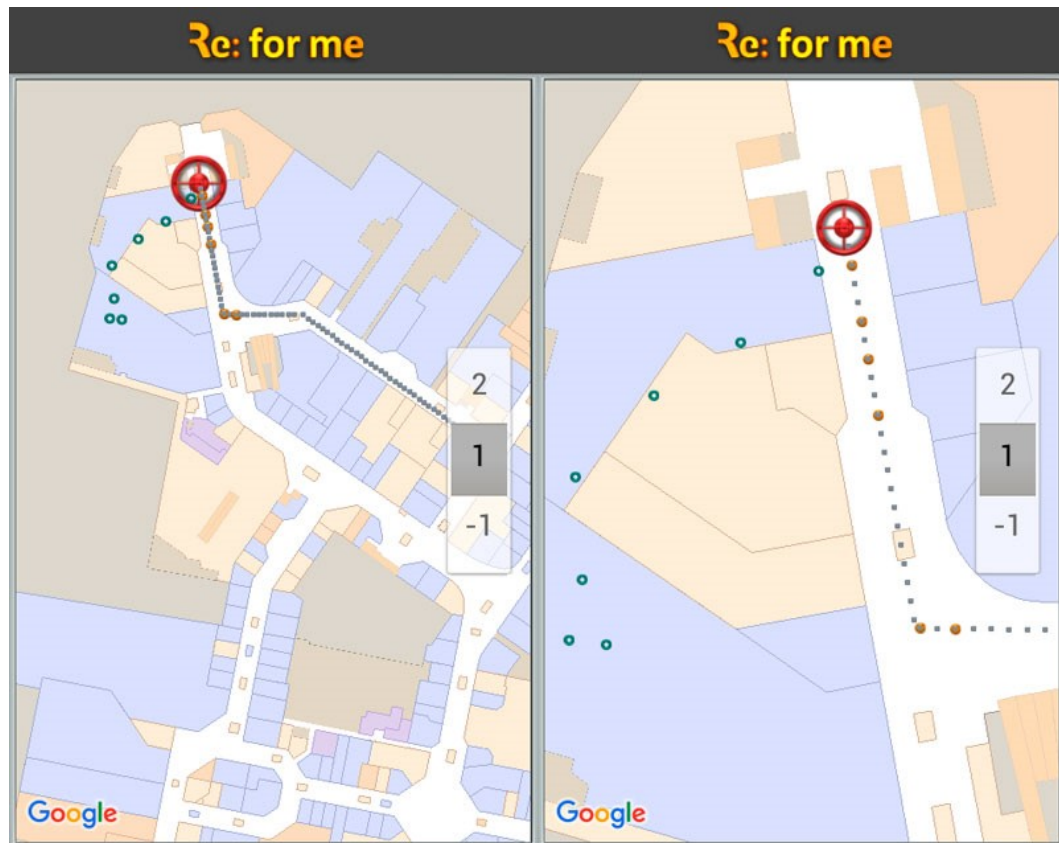


Figura 41 - Screenshots do aplicativo Re:for.me onde é possível visualizar os dados obtidos dos sensores inerciais (círculos verdes) e a aplicação da abordagem *Path Similar* (esferas douradas) em um ambiente interno. O ponto em vermelho registra o início do deslocamento e o pontilhado cinza o mapa de caminhos.

6.3. Re:for.me - Estudo de caso de coleta de dados

Para a coleta dos dados foram utilizados três modelos de dispositivos Android. Na Tabela 5 é possível verificar quais os sensores disponíveis em cada dispositivo, o alcance máximo de cada um, a sua resolução e o fornecedor. Lembrando que os três primeiros sensores na lista de cada dispositivo são sensores físicos e os seguintes são sensores sintéticos.

Sensores sintéticos são os sensores cujas medições são fornecidas através da aplicação de algoritmos proprietários e devem ser usados preferencialmente em relação ao desenvolvimento de modelos próprios por já estarem otimizados e integrados ao sistema.

Todos os sensores físicos fornecem valores em relação aos eixos locais, ou seja, na coordenada do dispositivo (coordenada relativa). Para se realizar a mudança da coordenada relativa para absoluta (coordenada global) é gerada a matriz de rotação através do uso do

sensor *Rotation Vector*. A Figura 42 apresenta os sistemas de coordenadas para os dispositivos Android (relativa) e Global (absoluta).

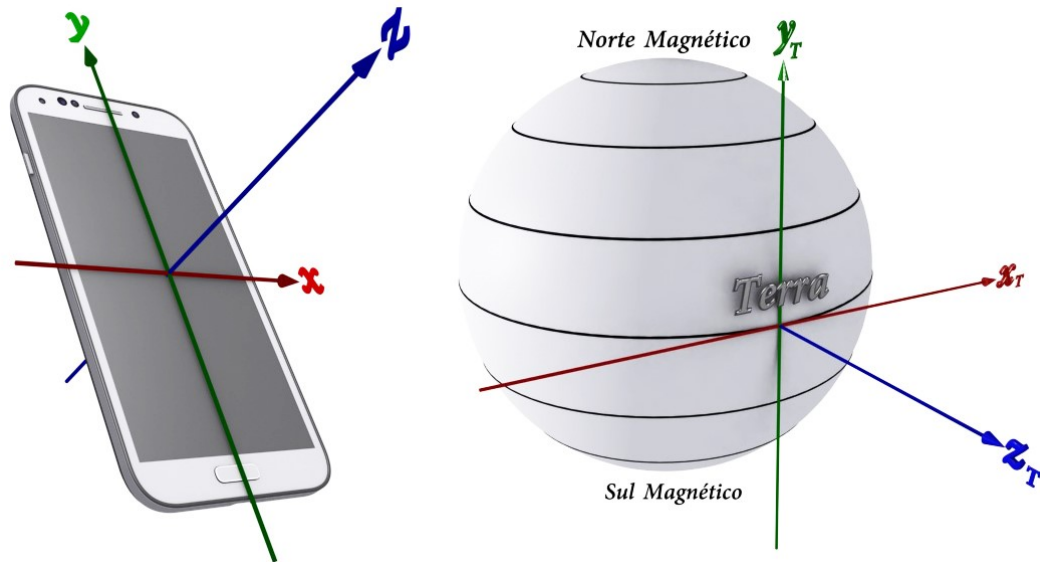


Figura 42 - Esq.: Sistema de coordenadas do dispositivo (coordenada relativa), Dir.: Sistema de coordenadas global (coordenada absoluta).

Outra forma de se conseguir a matriz de rotação seria usando os sensores acelerômetro e magnetômetro, porém esse método pode provocar erros devido aos ruídos gerados no acelerômetro e a influência de campos magnéticos presentes no ambiente. Os algoritmos empregados na criação do sensor “Vetor de Rotação” não estão disponíveis aos desenvolvedores de aplicativos, mas possuem um resultado bem mais preciso. Supõem-se que os métodos usados nos algoritmos sejam baseados no modelo de Fusão de Sensores (*Sensor Fusion*) e que um filtro de Kalman seja aplicado usando-se os dados fornecidos pelo acelerômetro, magnetômetro e giroscópio para compensar os erros inerentes a esses [MILETTE, 2012].

Tabela 5 - Dispositivos Android usados e respectivos sensores

LGE Nexus 4 - Android versão 5.1.1			
Nome do Sensor	Max	Resolução	Fornecedor
LGE Accelerometer Sensor (m/s ²)	39.226593	0.0011901855	InvenSense
LGE Gyroscope Sensor (rad/s)	17.453293	0.0010681152	InvenSense
LGE Magnetometer Sensor (microTesla uT)	4911.9995	0.14953613	AKM
Rotation Vector Sensor	1.0	5.9604645E-8	Qualcomm
Gravity Sensor (m/s ²)	39.226593	0.0011901855	Qualcomm
Linear Acceleration Sensor (m/s ²)	39.226593	0.0011901855	Qualcomm
Orientation Sensor (Pitch, Roll, Azimuth em graus)	360.0	0.1	Qualcomm
Samsung GT-I9082L - Android versão 4.2.2			
Nome do Sensor	Max	Resolução	Fornecedor
MPU-6K Accelerometer (m/s ²)	39.24	0.15328126	InvenSense
MPU-6K Gyroscope (rad/s)	2000.01	0.06103546	InvenSense
YAS532 Magnetic Sensor (microTesla uT)	1200.0	0.3	Yamaha Corporation
Rotation Vector Sensor	1.0	5.9604645E-8	Google Inc.
Gravity Sensor (m/s ²)	19.6133	0.15328126	Google Inc.
Linear Acceleration Sensor (m/s ²)	19.6133	0.15328126	Google Inc.
Orientation Sensor (Pitch, Roll, Azimuth em graus)	360.0	0.00390625	Samsung Inc.
Samsung GT-I8190L - Android versão 4.1.2			
Nome do Sensor	Max	Resolução	Fornecedor
MPU-6050 Accelerometer (m/s ²)	39.24	0.15328126	InvenSense
MPU-6050 Gyroscope (rad/s)	2000.01	0.06103546	InvenSense
ALPS 3-axis Magnetic field sensor (microTesla uT)	4800.0	0.14992504	alps electric co., ltd.
Rotation Vector Sensor	1.0	5.9604645E-8	Google Inc.
Gravity Sensor (m/s ²)	19.6133	0.15328126	Google Inc.
Linear Acceleration Sensor (m/s ²)	19.6133	0.15328126	Google Inc.
Orientation Sensor (Pitch, Roll, Azimuth em graus)	360.0	0.00390625	Samsung Inc.

6.3.1. Testes com os sensores inerciais

Com o intuito de verificar as rotinas implementadas no aplicativo e o comportamento dos sensores disponíveis nos diferentes modelos escolhidos para realização da captura de dados, foi feito o teste descrito a seguir.

Foram utilizadas as funcionalidades de captura e análise dos dados dos sensores presente no aplicativo Re:for.me. Amostras dos sensores acelerômetro, giroscópio e magnetômetro foram coletadas e, como já dito antes, os dados de saída são relativos a orientação do dispositivo, isto é, no sistema de coordenada do aparelho. Com o propósito de facilitar a análise o dispositivo foi colocado imóvel sobre uma mesa por um tempo em torno de 13 segundos, com a tela voltada para cima e parte superior apontando para o norte magnético, portando os eixos do dispositivo, até onde foi possível manualmente, estariam alinhados com os eixos de coordenada global. As Figuras a seguir ilustram os resultados obtidos dos sensores Aceleração Linear (m/s^2), Gravidade (m/s^2), Magnetômetro (microTesla), Giroscópio (rad/s) e Orientação (graus), nos três dispositivos usados. Nos gráficos o tempo decorrido está em milissegundos e os valores obtidos estão nas unidades correspondentes à cada sensor. Em todos os gráficos as cores derivadas do vermelho, verde e azul correspondem aos resultados obtidos nos eixos X, Y e Z, respectivamente.

A sensor Aceleração Linear é um sensor sintético e fornece o valor da aceleração nos três eixos, já descontada a força da gravidade. A Figura 43 demonstra que apesar do dispositivo estar em repouso os sensores dos três modelos Android apresentaram valores diferentes de zero. Em uma estratégia onde a integração da aceleração seja usada como meio de se calcular a velocidade e o deslocamento, os resultados obtidos podem conter um acúmulo de erro significativo.

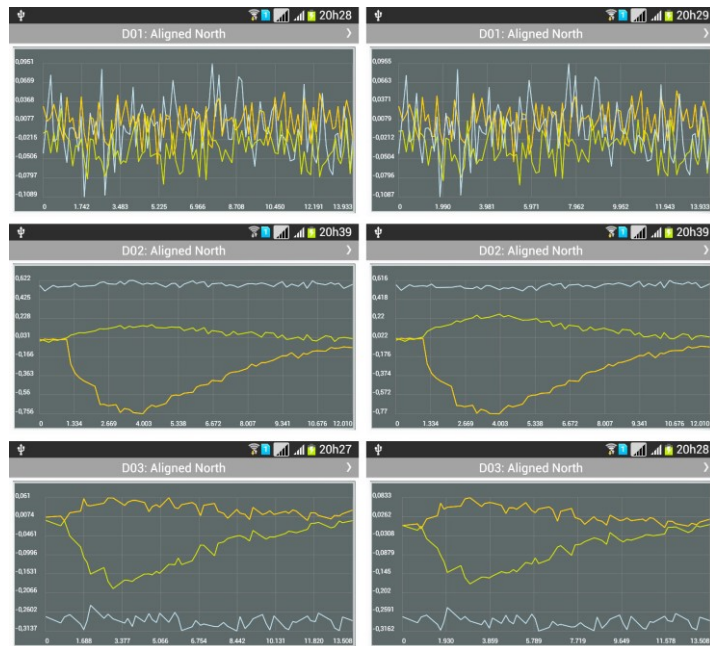


Figura 43 - Aceleração Linear nas coordenadas relativa (esq.) e absoluta (dir.)

O sensor de Gravidade é um sensor sintético cujo valor é obtido a partir do sensor físico acelerômetro e fornece o valor da força da gravidade nos três eixos. A Figura 44 apresenta os valores obtidos em relação ao eixo Z e mostra uma força da gravidade com valor próximo a $9,8 \text{ m/s}^2$ nos três modelos de dispositivo Android.

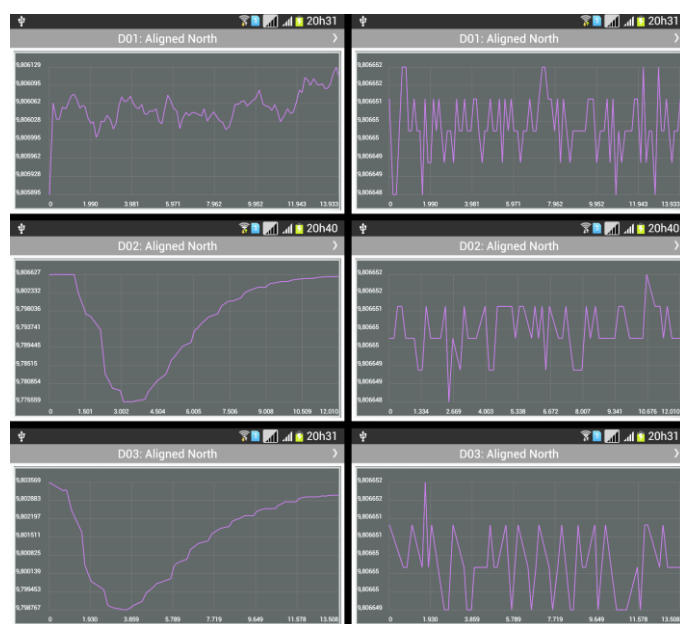


Figura 44 - Gravidade nas coordenadas relativa (esq.) e absoluta (dir.)

Os valores fornecidos pelo sensor físico Magnetômetro podem ser observados na Figura 45 e apresentam a influência de campos magnéticos em torno dos três eixos. O ambiente onde as medições desse sensor forem feitas influencia muito nos resultados. A presença de objetos eletrônicos nas proximidades altera os valores obtidos consideravelmente. Em um dos testes realizados, devido à proximidade de dois dispositivos Android, as suas medições foram refeitas devido a extensão dos erros nos valores registrados.

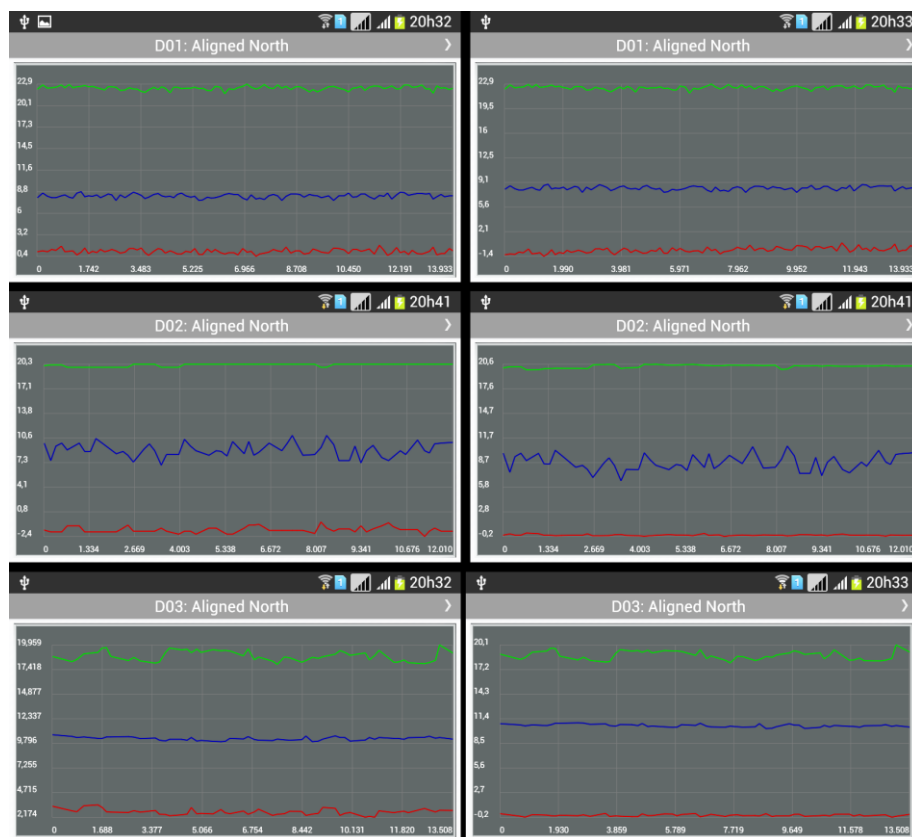


Figura 45 - Magnetômetro nas coordenadas relativa (esq.) e absoluta (dir.)

A Figura 46 ilustra os resultados obtidos do sensor físico Giroscópio. Em uma avaliação grosseira percebe-se uma maior precisão nos seus valores se comparados as variações obtidas nos sensores Acelerômetro e Magnetômetro, o que justifica o seu uso em estratégias que procuram obter resultados mais precisos, como é o caso da técnica *Sensor Fusion*.

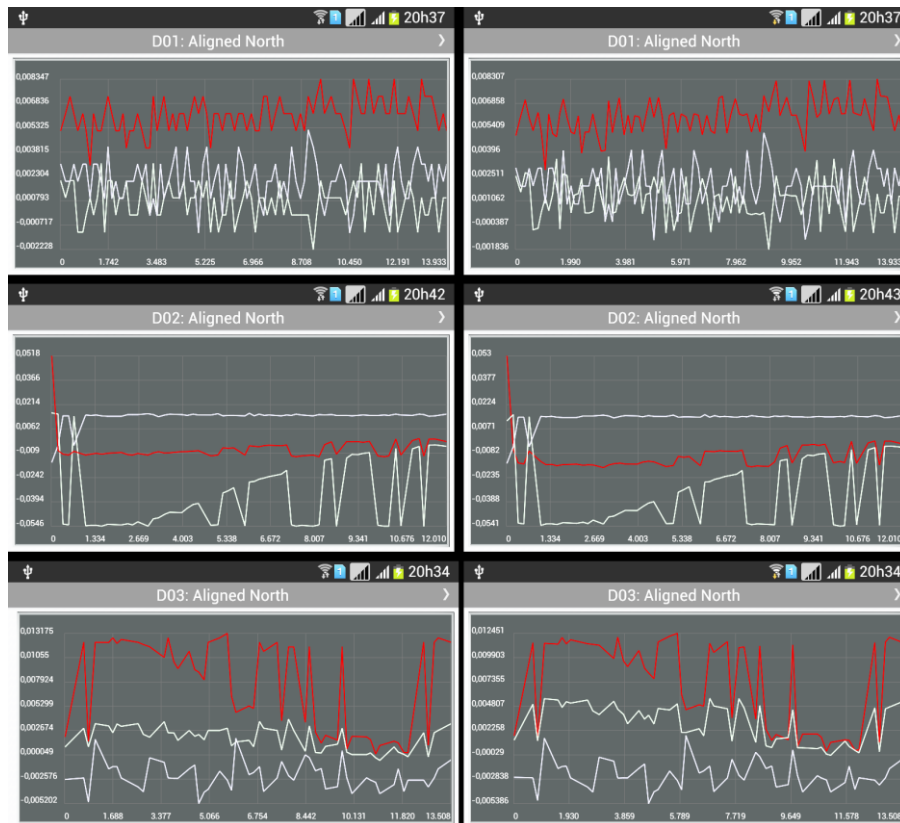


Figura 46 - Giroscópio nas coordenadas relativa (esq.) e absoluta (dir.)

Os resultados, em relação ao eixo Z, do sensor sintético Orientação são ilustrados na Figura 47. O eixo Z do sensor Orientação registra o Azimute, que é a medida da direção horizontal definida em graus, isto é, o valor obtido representa o quanto o dispositivo possui de rotação no eixo Z em relação ao polo magnético. Ou seja, ele fornece para onde o dispositivo está direcionado. Uma outra forma de conseguir os valores de orientação é usando o acelerômetro, o magnetômetro, o giroscópio e técnicas de fusão de sensores. Essa última técnica é mais recomendada por fornecer resultados mais precisos.

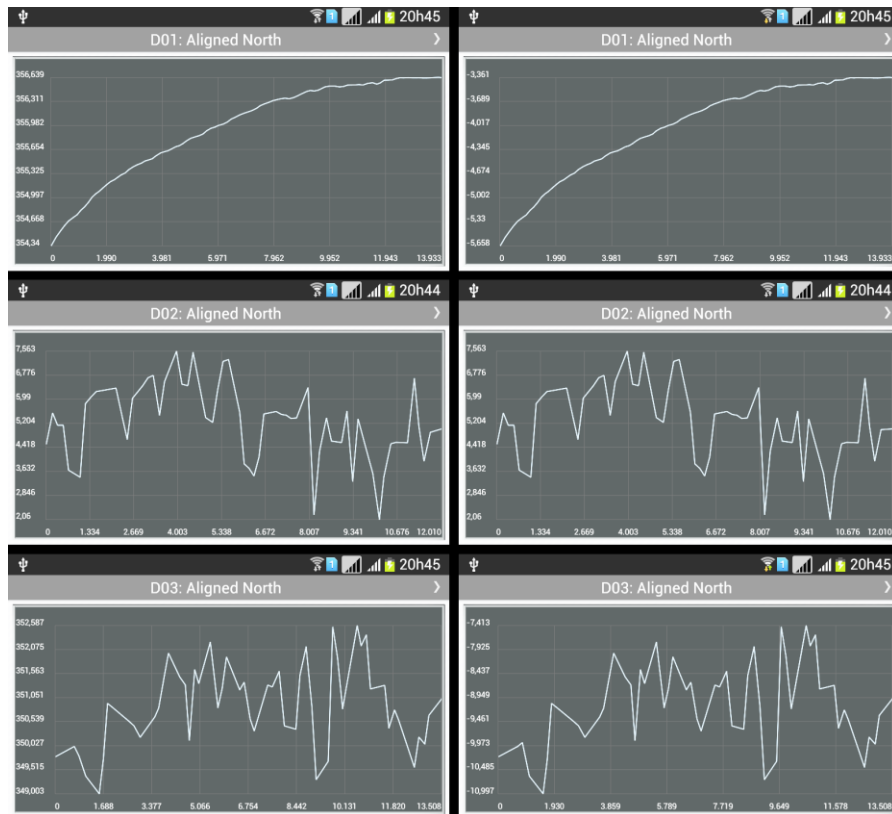


Figura 47 – Orientação obtida pelo sensor sintético (esq.) e calculada através de modelos matemáticos (dir.)

6.4. Considerações Finais

A conclusão final dos testes iniciais realizados com os sensores é de que todos sensores, independente do modelo do dispositivo, apresentam ruídos e se na implementação de alguma estratégia for necessário obter valores mais exatos será preciso desenvolver uma técnica de calibração dos sensores para ser aplicada antes dos dados puros serem utilizados.

Com esse estudo ficou confirmado também que os algoritmos e rotinas, implementadas no aplicativo *Re:for.me*, na mudança de coordenada relativa para absoluta e os cálculos realizados na definição da orientação (atitude), estão corretos e podem ser utilizadas pelo sistema.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos futuros

7.1. Introdução

Nesse capítulo, são feitas as considerações finais sobre a criação e aplicação da arquitetura proposta para o desenvolvimento de sistemas de localização em smartphones que utilizem a Realidade Aumentada para visualização das informações obtidas.

7.2. Conclusões

A estratégia proposta nesse trabalho para Sistemas em smartphones que utilizam Realidade Aumentada em conjunto com um Sistema de Localização baseado em GPS e PDR se mostrou flexível e de fácil manutenção e evolução. Flexível, pois permite que diferentes abordagens possam ser utilizadas em diferentes subsistemas da arquitetura, de forma a possibilitar a escolha da melhor combinação de estratégias para a obtenção dos dados. Por exemplo, no aplicativo desenvolvido foi utilizada a técnica Path Similar para a correção dos erros acumulados, esse método poderia ser facilmente substituído por Wi-Fi *Fingerprinting* [KRISHNAMURTHY, 2013], ou outra abordagem, trocando-se apenas um objeto (classe) no subsistema *Positioning*. Essa “troca” também poderia ser feita em outros subsistemas, facilitando a pesquisa de novos sistemas.

Uma contribuição que não foi percebida em trabalhos de outros autores, foi a adoção de um padrão arquitetural bem definido, o que permitiu a clara definição das responsabilidades de cada módulo, resultando em uma arquitetura que minimiza o tempo de manutenção nos sistemas desenvolvidos e permite uma evolução contínua tanto no acréscimo de novas funcionalidades como na melhoria das já implementadas.

Outra contribuição que merece destaque na implementação do aplicativo é o uso do subsistema *Data Collect and Analyze*. Através dele foi possível analisar, no próprio smartphone

e de forma gráfica e comparativa, os dados coletados pelos sensores imediatamente após a sua utilização, bem como a eficiência dos modelos matemáticos adotados. Isso facilitou consideravelmente a experimentação e a adequação do sistema em diferentes situações enquanto no próprio ambiente de teste, o que possibilitou uma melhor estimativa empírica das constantes utilizadas nos algoritmos, como por exemplo a constante *SAFETY_THRESHOLD* do contador de passos.

A implementação de um módulo para coleta dos dados que possibilitasse a análise em campo e no próprio dispositivo de desenvolvimento não foi citada em nenhum dos trabalhos relacionados e se provou de grande importância durante o desenvolvimento do aplicativo.

Uma contribuição importante foi a aplicação da técnica Path Similar juntamente com o algoritmo DTW na escolha do provável caminho onde o usuário se encontrava. O DTW apresentou um índice de acerto de 95% nos testes realizados. Isso pode ser verificado na Tabela 4 onde, na penúltima coluna são apresentados quantos caminhos estavam cadastrados (no caso 6) e na última coluna quantos caminhos foram identificados corretamente pelo DTW, isso para cada participante.

O sistema desenvolvido através da estratégia apresentada permite a troca da informação de localização entre os contatos cadastrados e o usuário. Os contatos e o usuário podem estar tanto ao ar livre como dentro de ambientes fechados. Todas as localizações podem ser visualizadas, individualmente ou em conjunto, no mapa digital ou através de Realidade Aumentada. É possível configurar o sistema para que envie manualmente ou automaticamente a localização do usuário para um ou vários contatos ao mesmo tempo, o que permite acompanhar o deslocamento de qualquer participante da rede cadastrada.

O aplicativo foi testado e apresentou bons resultados no rastreamento e localização do usuário. Ao ar livre a precisão do GPS variou entre 5 e 20 metros dependendo da quantidade de obstáculos encontrados no local, o que confirmou a especificação fornecida pelo fabricante. Em ambientes fechados através do uso do PDR com correção do erro acumulado a precisão ficou entre 3 e 7 metros, o que em comparação com o GPS foi considerado bom, mas instiga a continuação da pesquisa no aprimoramento da técnica *Path Similar* para a utilização do sistema em aplicativos que necessitem de uma exatidão maior, como por exemplo a localização de saídas de emergência.

7.3. Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros indica-se:

- Otimização e aperfeiçoamento dos algoritmos utilizados pelo PDR, principalmente, em ambientes que contenham deslocamentos mais complexos, como por exemplo ambientes com vários cruzamentos e bifurcações.
- Comparação e avaliação de outros padrões arquiteturais para o sistema, a fim de determinar uma possível melhora de produtividade no desenvolvimento de aplicativos e performance dos mesmos.
- Desenvolvimento de uma inteligência que permita um nível maior de precisão na detecção e estimativa do tamanho dos passos;
- Desenvolvimento da funcionalidade para o cadastramento dos mapas de caminhos pelo próprio usuário;
- Criação de uma estratégia para a mudança automática do sistema de GPS para o PDR;
- Implementação da troca de informações pela internet.
- Implementação de uma funcionalidade que permita a apresentação de rotas entre pontos que se encontrem em diferentes ambientes (externos e internos).
- Avaliar a utilização de outros modelos de localização, como por exemplo o uso de sinais de Wifi's para a incorporação no sistema proposto com o intuito de melhorar a precisão da localização.

Referências Bibliográficas

A. ASHOK, C. XU, T. VU, M. GRUTESER, R. HOWARD, Y. ZHANG, N. MANDAYAM, W. YUAN, AND K. DANA. **Bifocus: Using radio-optical beacons for an augmented reality search application.** In Proceeding of the 11th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys '13, pages 507-508, New York, NY, USA, 2013. ACM.

<https://doi.org/10.1145/2462456.2465706>

A. GHOSE, V. CHANDEL, A. K. AGRAWAL, A. KUMAR, N. AHMED, AND C. BHAUMIK. **Smartevactrak: A people counting and coarse-level localization solution for efficient evacuation of large buildings.** In Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015.

<https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2015.7134066>

A. MARCALETTI, M. REA, D. GIUSTINIANO, AND V. LENDERS. **WINS: Tracking of Mobile Devices with WiFi Time-Of-Flight.** Technical report, Microsoft Indoor Localization Competition, 2014.

A. S. FERRAZ, A. G. ALVINO, L. Q. L. MARTINS, AND P. A. BELLO. **Ubee.in: An Indoor Location solution for mobile devices.** Technical report, Microsoft Indoor Localization Competition, 2014.

ALAN B. CRAIG. **Understanding Augmented Reality Concepts and Applications.** Elsevier Inc., 2013.

AQUINO, A. F., TRINDADE, A. C., NOGUEIRA, D. L. **Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais**. Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2013.

AZUMA, R. T., BAILLOT, T. Y., BEHRINGER, R., FEINER, S., JULIER, S., MACINTYRE, B. **Recent Advances in Augmented Reality**. IEEE Computer Graphics and Applications, v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.

<https://doi.org/10.1109/38.963459>

C. BEDER AND M. KLEPAL. **Fingerprinting based localisation revisited - a rigorous approach for comparing RSSI measurements coping with missed access points and differing antenna attenuations**. In 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2012.

<https://doi.org/10.1109/IPIN.2012.6418940>

C. F. C. S. J. SIMÕES. **AnDReck: Positioning Estimation using Pedestrian Dead Reckoning on Smartphones**, Thesis, 2013.

C. L. LI, C. LAODIAS, G. LARKOU, Y.-K. TSAI, D. ZEINALIPOUR-YAZTI, AND C. G. PANAYIOTOU. **Indoor Geolocation on Multi-sensor Smartphones**. In Proceeding of the 11th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys '13. ACM, 2013.

<https://doi.org/10.1145/2462456.2465704>

C. ZHANG, J. LUO, AND J. WU. **A Dual-Sensor Enabled Indoor Localization System with Crowdsensing Spot Survey**. In Proc. of the 10th IEEE DCOSS, pages 75-82, 2014.

<https://doi.org/10.1109/DCOSS.2014.14>

F. KARLSSON, M. KARLSSON, B. BERNHARDSSON, F. TUFVESSON, M. PERSSON. **Sensor Fused Indoor Positioning Using Dual Band WiFi Signal Measurements**. European Control Conference, 2015.

<https://doi.org/10.1109/ECC.2015.7330777>

F. MENEGUZZI, B. KANNAN, K. SYCARA, C. GNEGY, E. GLASGOW, P. YORDANOV, M. B. DIAS. **Predictive Indoor Navigation using Commercial Smart-phones**. ACM Symposium on Applied Computing, 2013.

<https://doi.org/10.1145/2480362.2480463>

G. PIRKL AND P. LUKOWICZ. **Robust, low cost indoor positioning using magnetic resonant coupling**. In Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing (Ubicomp-2012), pages 431-440. ACM, 2012.

<https://doi.org/10.1145/2370216.2370281>

GREGORY KIPPER, JOSEPH RAMPOLLA. **Augmented Reality: An Emerging Technologies Guide to AR**. 1rd Edition - Syngress, 2013.

GREWAL, M. S., ANDREWS, A. P., BARTONE, C.G, **Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration**, 3rd Edition - John Wiley & Sons, 2013.

GROVES, PAUL D. **Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems**, Artech House, 2008.

H. ZOU, L. XIE, Q.-S. JIA, AND H. WANG. **Platform and algorithm development for a rfid-based indoor positioning system**. Unmanned Systems, 2(03):279-291, 2014.

<https://doi.org/10.1142/S2301385014400068>

H. ZOU, X. LU, H. JIANG, AND L. XIE. **A fast and precise indoor localization algorithm based on an online sequential extreme learning machine.** Sensors, 2015.

<https://doi.org/10.3390/s150101804>

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems, GPS, GLONASS, Galileo and more.** Springer-Verlag Wien, 2008.

I. CONSTANDACHE, R. CHOUDHURY, I. RHEE, **Towards mobile phone localization without war-driving** in INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE, 2010. Available: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5462058

<https://doi.org/10.1109/INFCOM.2010.5462058>

J. PEDDIE. **Augmented Reality - Where We Will All Live.** Springer International Publishing, 2017.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-54502-8>

KAIXU LIU, GIANMARIO MOTTA, TIANYI MA. **XYZ Indoor Navigation through Augmented Reality: A Research in Progress** in IEEE, 2016. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7557466/>

<https://doi.org/10.1109/SCC.2016.46>

KIRNER, C., CARDOSO, A., LAMOUNIER, E. **Conceitos de Realidade Virtual e Aumentada.** [S.l.]: Tecnologias para o Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada, 2007.

K. PRIEDITIS, I. DRIKIS, AND L. SELAVO. **Santarray: passive element array antenna for wireless sensor networks.** In Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pages 433-434. ACM, 2010.

<https://doi.org/10.1145/1869983.1870060>

L. C. HUEY, P. SEBASTIAN, M. DRIEBERG. **Augmented Reality Based Indoor Positioning Navigation Tool**. IEEE Conference on Open Systems, 2011.

<https://doi.org/10.1109/ICOS.2011.6079276>

L. LI, C. ZHAO, G. SHEN, AND F. ZHAO. **Indoor Localization with Multi-modalities**. Technical report, Microsoft Indoor Localization Competition, 2014.

L. LI, P. HU, C. PENG, G. SHEN, AND F. ZHAO. **Epsilon: A Visible Light Based Positioning System**. In 11th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 14), pages 331-343, Seattle, WA, Apr. 2014. USENIX Association.

LYMBEROPOULOS, D., CHOUDHURY, R. R., LIU, J., HANDZISKI, V., YANG, XUE, SEM, S. **A Realistic Evaluation and Comparison of Indoor Location**, Technologies: Experiences and Lessons Learned, 2015.

LYMBEROPOULOS, D., LIU, J., **The Microsoft Indoor Localization Competition: Experiences and Lessons Learned**, IEEE Signal Processing Magazine, Sept. 2017.

<https://doi.org/10.1109/MSP.2017.2713817>

M. ROSSI, J. SEITER, O. AMFT, S. BUCHMEIER, G. TROSTER. **RoomSense: An Indoor Positioning System for Smartphones using Active Sound Probing**. Augmented Human International Conference, 2013.

<https://doi.org/10.1145/2459236.2459252>

MILETTE, G., STROUD, A. **Professional Android Sensor Programming**. John Wiley & Sons, 2012

MENG-YUAN HSIEH, WEN-HSIANG TSAI. **A study on Indoor Navigation by Augmented Reality and Down-Looking Omni-Vision Techniques using Mobile Devices**, 2012. Available: https://people.cs.nctu.edu.tw/~whtsai/Conference_Papers_PDF/Hsieh_Tsai_CVGIP_2012.pdf

P. KEMPPİ, T. RAUTIAINEN, V. RANKI, F. BELLONI, J. PAJUNEN. **Hybrid positioning system combining angle-based localization, pedestrian dead reckoning and map filtering**. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 2010.
<https://doi.org/10.1109/IPIN.2010.5646682>

P. KRISHNAMURTHY. **WiFi location fingerprinting**. In H. Karimi (Ed.), Advanced location-based technologies and services. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013.
<https://doi.org/10.1201/b14940-4>

P. LAZIK AND A. ROWE. **Indoor pseudo-ranging of mobile devices using ultrasonic chirps**. In Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems, SenSys '12, pages 99{112, New York, NY, USA, 2012. ACM.
<https://doi.org/10.1145/2426656.2426667>

P. SILVEIRA, G. SILVEIRA, S. LOPES, G. MOREIRA, N. STEPPAT, F. KUNG. **Introdução à arquitetura e design de software**, Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

R. REIMANN, A. BESTMANN, AND M. ERNST. **Locating Technology for AAL Applications with Direction Finding and Distance Measurement by Narrow Bandwidth Phase Analysis**. In

Evaluating AAL Systems Through Competitive Benchmarking, volume 362 of Communications in Computer and Information Science, pages 52{62. Springer Berlin Heidelberg, 2013.

https://doi.org/10.1007/978-3-642-37419-7_5

SHIXIONG XIA, YI LIU, GUAN YUAN, MINGJUN ZHU AND ZHAOHUI WANG. **Indoor Fingerprint Positioning Based on Wi-Fi: An Overview** in ISPRS International Journal of Geo-Information, 2017.

<http://doi.org/10.3390/ijgi6050135>

S. ADLER, S. SCHMITT, Y. YANG, Y. ZHAO, AND M. KYAS. **FunbLoc: Accurate Range-based Indoor Localization and Tracking**. Technical report, Microsoft Indoor Localization Competition, 2014.

S. KASPRZAK, A. KOMNINOS, P. BARRIE. **Feature-based Indoor Navigation using Augmented Reality**. 9th International Conference on Intelligent Environments, 2013.

<https://doi.org/10.1109/IE.2013.51>

S. SZYMCAK, T. JANKOWSKI, AND M. NIKODEM. **Underground GPS (UGPS) - precondition for location based services underground**. In Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa: bezpieczeństwo - efektywnosc - niezawodnosc, pages 33-41. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, 2014.

T. E. ABRUDAN, Z. XIAO, A. MARKHAM, AND N. TRIGONI. **Distortion rejecting magneto-inductive 3-D localization (MagLoc)**. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, pages 1-14, 2015.

<https://doi.org/10.1109/JSAC.2015.2430518>

T. SCHMID AND D. LEE. **High Resolution Indoor RF Ranging**. Technical report, Microsoft Indoor Localization Competition, 2014.

V. DENTAMARO, D. COLUCCI, AND P. AMBROSINI. **Nextome: Indoor Positioning and Navigation System**. <http://www.nextome.org/index.php>.

V. SARK AND E. GRASS. **Software Defined Radio for Time of Flight Based Ranging and Localization**. Technical report, Microsoft Indoor Localization Competition, 2014.

Z. JIANG, J. ZHAO, J. HAN, S. TANG, J. ZHAO, AND W. XI. **Wi-fi fingerprint based indoor localization without indoor space measurement**. In Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS), 2013 IEEE 10th International Conference on, pages 384{392, Oct 2013.
<https://doi.org/10.1109/MASS.2013.84>

Z. JIANGY, W. XIY, X.-Y. LI, J. ZHAOY, AND J. HANY. **HiLoc: A TDoA-Fingerprint Hybrid Indoor Localization System**. Technical report, Microsoft Indoor Localization Competition, 2014.

Z. XIAO, H. WEN, A. MARKHAM, AND N. TRIGONI. **Lightweight map matching for indoor localization using conditional random fields**. In The International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'14), Berlin, Germany, 2014.
<https://doi.org/10.1109/IPSN.2014.6846747>

A. TAHERI, A. SINGH, AND A. EMMANUEL, “**Location fingerprinting on infrastructure 802.11 wireless local area networks (WLANs) using Locus**” Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, pp. 676–683, 2004.

<https://doi.org/10.1109/LCN.2004.74>

D. GUSENBAUER, C. ISERT, AND J. KROSCHKE, **Self-contained indoor positioning on off-the-shelf mobile devices**, in Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2010 International Conference on, 2010, pp. 1–9. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/absAll.jsp?arnumber=5646681>

<https://doi.org/10.1109/IPIN.2010.5646681>

YASUSHI SAKURAI, MASATOSHI YOSHIKAWA, AND CHRISTOS FALOUTSOS, **FTW: Fast Similarity Search under the Time Warping Distance**. Elsevier Inc., PODS 2005, June 13-15, 2005, Baltimore, Maryland.

<https://doi.org/10.1145/1065167.1065210>

NIPUN BATRA, **Programatically understanding dynamic time warping**, Available: <http://nipunbatra.github.io/2014/07/dtw/>

GIORGINO, TONI. **Computing and Visualizing Dynamic Time Warping Alignments** in T: The DTW Package. Journal of Statistical Software, ago. 2008. Vol. 31 ed. 7. P. 1-24.

<http://hdl.handle.net/10.18637/jss.v031.i07>

KIM, H. L., KIM, D. H., RYU, Y. S. AND KIM, Y. K. **A study on pitch detection using the local peak and valley for Korean speech recognition** in IEEE TENCON '96. Proceedings, 1996

<https://doi.org/10.1109/TENCON.1996.608723>

POTEL, MIKE, **MVP: Model-View-Presenter. The Taligent Programming Model for C++ and Java**, Taligent Inc., 1996. Available: <http://www.wildcrest.com/Potel/Portfolio/mvp.pdf>

From site: **Is there a relationship between a person's height and the length of his or her stride?**, All Science Fair Projects Available: http://www.all-science-fair-projects.com/print_project_1102_140

From Wikipedia: **Walking** Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Walking>

APÊNDICE A

Descrição do aplicativo

Ao iniciar o aplicativo é mostrado uma tela orientando o usuário de que se trata de um trabalho ainda em desenvolvimento e que a troca de informações entre os dispositivos será feita através de SMS, o que pode gerar custos. A Figura 48 mostra uma imagem da tela de abertura. Nessa tela também é oferecida a opção de desconectar o aplicativo, o que permite ao usuário desligar qualquer configuração de aquisição automática da sua posição.





Figura 48 - Tela de abertura do aplicativo Re:for.me.

Ao tocar no logotipo do aplicativo é acionada a sua tela principal, onde o usuário poderá acessar a maioria das funcionalidades disponíveis. A Figura 49 apresenta essa tela e todos os seus componentes. É possível verificar que na parte superior ao centro estão expostos todos os contatos cadastrados no sistema. O contato estará ativo quando a sua imagem estiver totalmente visível, caso contrário ele não participará das funcionalidades de troca de informações. Um toque sobre a imagem do contato faz a troca entre ativado e desativado e apresenta a sua posição no mapa digital.



Figura 49 - Tela principal do Re:for.me.

As interações disponíveis na parte superior da tela principal estão relacionadas abaixo:

- 
 Permite chamar a função de cadastro e manutenção dos dados do usuário.
- 
 Permite o cadastro de um novo contato.

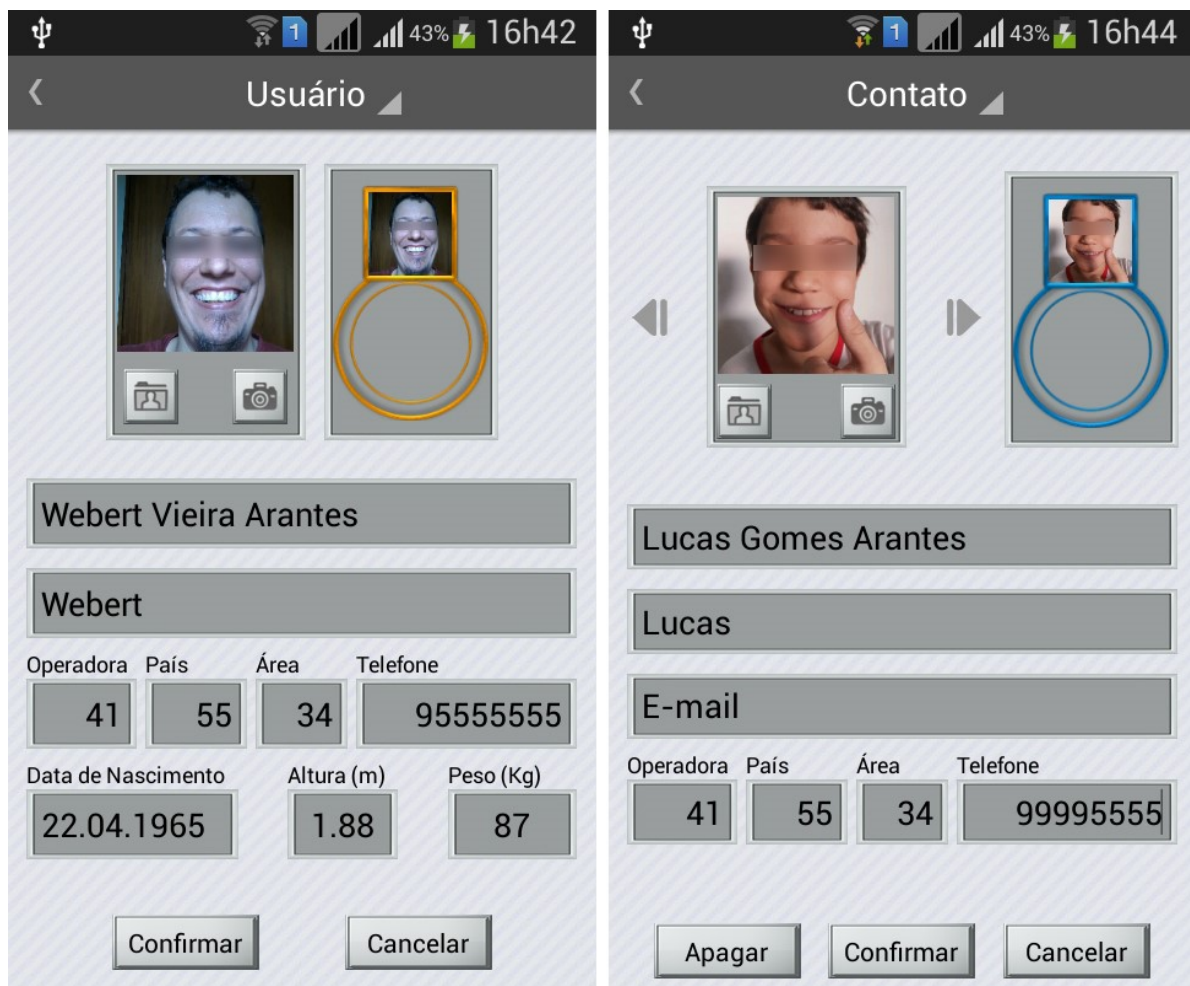









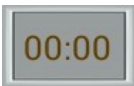




Figura 50 - Cadastro de usuário e contatos.




-  Seleciona todos os contatos como ativos.
-  Seleciona todos os contados como inativos.
-  Envia por SMS um pedido de atualização de posição para todos os contatos ativos. Ao receber um pedido de atualização de posição, se o contato de onde partiu o pedido estiver ativo, o aplicativo atualiza a sua posição e envia automaticamente um SMS como resposta. Caso o contato esteja desativado ou

não for possível a aquisição de uma posição válida pelo GPS, será enviado um SMS com a mensagem de “Contato Indisponível “.

-  Envia a posição atual do usuário para todos os contatos ativos.
-  Faz a troca entre apresentação do mapa digital de visão de satélite para mapa vetorizado.
-  Apresenta os contatos cadastrados.
-  Apresenta os locais cadastrados.
-  Apresenta os avisos cadastrados.
-  Ativa a opção de “Rastreamento” do usuário. A posição do usuário será atualizada periodicamente de acordo com o tempo informado. A atualização de posição será percebida somente pelo usuário, ou seja, nenhuma informação será enviada aos contatos.
-  Campo de apresentação do tempo selecionado como intervalo de atualização da posição do usuário.
-  Ativa a opção de “Acompanhamento”. Com essa opção ativa, a posição do usuário é atualizada periodicamente de acordo com o tempo informado e a atualização é enviada por SMS a todos os contatos ativos.
-  Permite ao usuário informar o tempo de atualização que será empregado nas opções de “Rastreamento” e “Acompanhamento”. Ao deslizar sobre a barra colorida o tempo é atualizado. A cor vermelha indica que haverá

um gasto maior da energia da bateria do dispositivo e a cor verde indica um gasto menor.

As interações disponíveis sobre o mapa digital estão descritas abaixo.

-  Expande a apresentação do mapa digital aumentando a área visualizada.
-  Centraliza a apresentação do usuário sobre o mapa digital.
-  Centraliza a apresentação dos contatos sobre o mapa digital.

No mapa digital também é apresentado, na parte superior, as informações de posicionamento do usuário e, na parte inferior, as informações de posicionamento do último contato selecionado. São informadas a precisão do GPS no momento da atualização, a velocidade que o usuário ou contato se encontravam nesse momento e a data e hora da atualização.

Através do botão Menu do dispositivo é possível acessar as funcionalidades de coleta e análise dos dados dos sensores, como pode ser visto na Figura 51. Na figura central é possível ver o nome dos sensores disponíveis, sendo que, os três primeiros são os sensores físicos e os 4 seguintes os sensores sintéticos. É possível dessa forma, armazenar no local informado os dados coletados e, posteriormente, selecionar o arquivo correspondente para ser apresentado no formato de gráficos.



Figura 51 - Coleta e análise dos dados dos sensores.

Além disso, é possível selecionar quais dados de quais sensores serão apresentados em conjunto, bem como se algum filtro deve ser aplicado aos mesmos. Facilitando assim o exame dos dados imediatamente após serem coletados. A Figura 52 demonstra a utilização dessa funcionalidade.



Figura 52 - Gráficos para análise dos dados dos sensores.