

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

Luciene Chagas de Oliveira

**REALIDADE AUMENTADA MÓVEL APLICADA NA
NAVEGAÇÃO INDOOR PARA CADEIRANTES**

UBERLÂNDIA - MINAS GERAIS

2017

Luciene Chagas de Oliveira

**REALIDADE AUMENTADA MÓVEL APLICADA NA
NAVEGAÇÃO INDOOR PARA CADEIRANTES**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para obtenção do Título de Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Processamento da Informação.

Linha de Pesquisa: Computação Gráfica

Sub-área: Realidade Aumentada e Mobilidade

Orientador: Prof. Dr. Edgard Afonso Lamounier
Júnior

Co-orientador: Prof. Dr. Adriano Oliveira Andrade

UBERLÂNDIA - MINAS GERAIS

2017

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

- O48r
2017
- Oliveira, Luciene Chagas de, 1980-
Realidade aumentada móvel aplicada na navegação indoor para cadeirantes / Luciene Chagas de Oliveira. - 2017.
143 f. : il.
- Orientador: Edgard Afonso Lamounier Júnior.
Coorientador: Adriano Oliveira Andrade.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.
1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Deficientes - Orientação e mobilidade - Teses. 3. Realidade aumentada - Teses. I. Lamounier Júnior, Edgard Afonso, 1964- II. Andrade, Adriano Oliveira. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

Luciene Chagas de Oliveira

**REALIDADE AUMENTADA MÓVEL APLICADA NA
NAVEGAÇÃO INDOOR PARA CADEIRANTES**

Tese de Doutorado aprovada pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Processamento da Informação.

Linha de Pesquisa: Computação Gráfica

Uberlândia, 22 de maio de 2017.

Prof. Dr. Edgard Afonso Lamounier Júnior
Orientador

Prof. Dr. Alexandre Cardoso
Coordenador do Curso de Pós Graduação

Luciene Chagas de Oliveira

**REALIDADE AUMENTADA MÓVEL APLICADA NA
NAVEGAÇÃO INDOOR PARA CADEIRANTES**

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

Área de Concentração: Processamento da Informação.

Linha de Pesquisa: Computação Gráfica

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Edgard Afonso Lamounier Júnior - Orientador (UFU)

Prof. Dr. Adriano Oliveira Andrade - Coorientador (UFU)

Prof. Dr. Alexandre Cardoso - Banca Interna (UFU)

Prof. Dr. Eduardo Lázaro Martins Naves - Banca Interna (UFU)

Prof. Dr. Luciano Silva - Banca Externa (MACKENZIE)

Prof. Dr. Gerson Flávio Mendes de Lima - Banca Externa (ULBRA)

Uberlândia, MG

22 de maio de 2017

Aos meus amados pais, Terezinha e Jair, aos meus irmãos Eduardo e Liliane, ao meu marido Sirley e ao meu filho Lucas.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus, acima de tudo, que permitiu este momento de grande importância em minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edgard Afonso Lamounier Júnior e ao meu co-orientador, Prof. Dr. Adriano Oliveira Andrade, e aos professores Dr. Alexandre Cardoso e Dr. Alcimar Barbosa, sou profundamente grata pela extraordinária orientação, pela confiança, pela amizade, por suas ideias e pelos conselhos que fizeram com que a elaboração deste trabalho se tornasse um caminho prazeroso de obtenção de novos conhecimentos. Obrigada por ter tido a oportunidade de conviver com pessoas tão especiais e fantásticas como vocês que, para mim, são exemplos de vida, profissionalismo e competência. Sou grata por me proporcionarem um período de grande crescimento profissional e pessoal.

A todos os meus queridos mestres, segundos pais na senda do aprender, deixo minha homenagem e gratidão;

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, que sempre me receberam com carinho e disposição. Em especial, agradeço a Cinara, ex-secretária da pós-graduação, e a Patrícia, secretária da pós graduação, pela amizade e por sempre atender com prontidão às minhas solicitações.

A toda minha amada família, pelo incentivo durante esta jornada, especialmente aos meus pais Jair e Terezinha, aos meus irmãos Eduardo e Liliane, ao meu esposo Sirley e ao meu filho Lucas, pelo amor e carinho incondicional, por nortearem meus caminhos e por me darem forças para enfrentar os desafios da vida.

A todas as pessoas queridas, amigos e parentes, que fazem parte da minha vida e a tornam completa.

A todos os professores e amigos da Pós Graduação da Universidade Federal de Uberlândia, sou grata pelos ensinamentos, companheirismo e pela amizade.

A todos os meus colegas do laboratório de Computação Gráfica da Universidade Federal de Uberlândia, por me proporcionarem um maravilhoso ambiente de trabalho e por todo o apoio durante este período de convivência. Agradeço, em especial, os colegas do grupo de Realidade Virtual e Aumentada da UFU: Eduardo Chagas, Renato Aquino, Kenedy Lopes, Gerson Flávio, Adriana Porto, Milton Miranda, Gesmar Júnior, Alexandre Carvalho, Daniel Stéfany, Flávia Fernandes, Fábio Henrique, Leandro Mattioli, Pedro Cacique, pelo apoio e discussões sobre a área de Realidade Virtual e Aumentada para dispositivos móveis que estiveram presentes em alguns momentos nesta pesquisa.

Em especial, aos cadeirantes que participaram da avaliação do sistema, mesmo com diversos obstáculos para chegar ao local de realização do teste (chuva, buracos, subida íngreme, deslocamento através de ônibus), meus sinceros agradecimentos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Federal de Uberlândia (UFU) pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

Finalmente, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho.

"Há homens que lutam por um dia e são bons; há outros que lutam por um ano e são melhores; há outros, ainda que lutam por muitos anos e são muito bons; há, porém, os que lutam por toda a vida, estes são os imprescindíveis."

(Bertold Brecht)

"A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nós acostumamos a ver o mundo"

(Albert Einstein)

"Somos diferentes, mas não queremos ser transformados em desiguais. As nossas vidas só precisam ser acrescidas de recursos especiais".

(Autor desconhecido)

"Nós não devemos deixar que as incapacidades das pessoas nos impossibilitem de reconhecer as suas habilidades."

(Hallahan e Kauffman, 1994)

"O pensamento lógico pode levar você de A a B, mas a imaginação te leva a qualquer parte do Universo."

(Albert Einstein)

Publicações Obtidas

As seguintes publicações principais relacionadas a pesquisa e ao trabalho realizado foram aceitas. Outras publicações aceitas durante a execução deste trabalho se encontram no Anexo F.

Artigos completos publicados em Periódicos

- OLIVEIRA, L. C; SOARES A. B; LAMOUNIER JR. E. A.; CARDOSO A; ANDRADE A. O. **Mobile Augmented Reality enhances indoor navigation for wheelchair users.** In: *Research on Biomedical Engineering*, 2016, v.1, n.2, pp.1-122, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2446-4740.01515>.

Capítulos de Livros

- OLIVEIRA, L. C; SANTOS JR., G. P.; CARDOSO A.; LAMOUNIER JR, E. A.; RIBEIRO, M. W. S; NASCIMENTO, H. T. **Realidade Aumentada Móvel.** In: *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada. XIV Symposium on Virtual and Augmented Reality*, 2013, Cuiabá - MT, Brasil. v.9, n.2, pp.325, 2013. ISBN 857669068-3.

Trabalhos completos publicados em Anais de Congressos

- OLIVEIRA, L. C.; LAMOUNIER JR, E. A. ; CARDOSO, A.; OLIVEIRA, E. C.; SOARES A. B; ANDRADE A. **Indoor Navigation with Mobile Augmented Reality and Beacon Technology for Wheelchair Users.** In: BHI-2017 IEEE International Conference on Biomedical and Health Informatics, Orlando, Florida, 2017.
- OLIVEIRA, L. C.; LAMOUNIER, E. A.; OLIVEIRA, E. C.; CARDOSO, A. **Navegação Indoor para Cadeirantes utilizando Beacons.** In: Simpósio de Realidade Virtual e Realidade Aumentada, 2016, Gramado, RS. XVIII Simpósio de Realidade Virtual e Realidade Aumentada - SVR, 2016.
- OLIVEIRA, L. C.; PEREIRA FILHO, E. S. **Sistema para Navegação Indoor de Deficientes Físicos usando NFC (Near Field Communication).** In: XII Encontro Anual de Computação - ENACOMP, 2015, Catalão-GO. XII Encontro Anual de Computação - ENACOMP, 2015.
- OLIVEIRA, L. C.; PEREIRA FILHO, E. S. **Sistema Mobile de Localização Indoor para Portadores de Necessidades Especiais usando NFC.** In: XIII

CEEL - Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2015, Uberlândia.
XIII CEEL - Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2015.

- OLIVEIRA, E. C. ; OLIVEIRA, L. C. ; CARDOSO, A. ; LAMOUNIER, E. A. . **Manipulação de Objetos Virtuais detectados em Marcadores para Realidade Aumentada utilizando Reconhecimento de Voz.** In: X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013, Jataí - GO. X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013.
- OLIVEIRA, L. C; CARDOSO A.; LAMOUNIER JR., E. A. **Information Visualization in Mobile Augmented Reality for Locating Objects in Indoor Environments.** In: *XIV Symposium on Virtual and Augmented Reality*, 2012, Niterói - RJ, Brasil., *Annals of XIV Symposium on Virtual and Augmented Reality*, 2012. ISBN 978-1-4673-1929-4.
- OLIVEIRA, L. C; CARDOSO A.; LAMOUNIER JR., E. A. **Aplicação Genérica da Realidade Aumentada Móvel para Localização e Visualização de Informações de Objetos e Lugares em Ambientes Internos.** In: *WRVA 2012 - IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, 2012, Paranavaí - PR, Brasil., *Anais do IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, 2012.

Apresentação de Trabalhos

- OLIVEIRA, L. C. ; PEREIRA FILHO, E. S. **Desenvolvimento de Aplicação de Automação e Robótica utilizando a Tecnologia Assistiva aplicada a Navegação e Localização de Indivíduos com Necessidades Especiais**, XVI Seminário de Iniciação Científica (SEMIC), Universidade de Uberaba, 2015.

Resumo

A deficiência física é um obstáculo aos portadores, uma vez que os mesmos são privados de realizar atividades rotineiras, sem auxílio de outros. Para muitos, o uso de cadeiras de rodas é fundamental para proporcionar mobilidade e inclusão social. No entanto, cadeirantes ainda enfrentam uma série de desafios para melhorar sua qualidade de vida. Entre as muitas dificuldades, uma em especial se destaca: a navegação em ambientes internos (*indoor*) de edificações, tais como a localização do menor e melhor caminho para chegar ao seu destino final. No contexto da Sociedade da Informação, o uso de computação pervasiva e de ambientes inteligentes tem potencial de aplicação no apoio à navegação suportada por dispositivos móveis. Neste cenário, observa-se pouca quantidade de aplicações capazes de atender as necessidades especiais de cadeirantes. Portanto, este trabalho considera a hipótese de que outras tecnologias como a Realidade Aumentada (RA) Móvel, possui potencial para facilitar a navegação de cadeirantes em ambientes fechados. Diante disso, a motivação principal desta pesquisa é investigar técnicas computacionais que suportem o uso da navegação *indoor* de cadeirantes, baseada na RA Móvel, especialmente os que possuem total controle dos membros superiores. Para tanto, este trabalho propõe uma arquitetura para suportar o desenvolvimento destas aplicações. Experimentos foram realizados com voluntários cadeirantes. Estes interagiram com a aplicação por meio de comandos de toque ou de voz, para navegar dentro de um ambiente de teste. Este ambiente propõe o uso de setas de navegação com o uso de RA. As características implementadas na arquitetura proposta foram capazes de proporcionar benefícios significativos para navegação *indoor* de cadeirantes. Principalmente, quando comparado com técnicas tradicionais.

Palavras-chave: realidade aumentada móvel, navegação indoor, cadeirantes.

Abstract

Physical deficiency is an obstacle to the afflicted individual, as they are deprived from realizing routine activities, without the help of others. For many, the use of wheelchairs is fundamental to providing mobility and social inclusion. However, these individuals still come up against a series of challenges in order to improve their life quality. Among the many difficulties, one in particular is highlighted: navigation in indoor environments buildings, such as localizing the shortest and best route for arriving at a desired destination. In the context of the Information Society, the use of pervasive computation and intelligent environments have application potential in supporting navigation assisted by mobile devices. In this scenario, it is noted that there exist a sparse quantity of applications capable of attending to the special needs of wheelchair users. Therefore, this study considers the hypothesis that other technologies, such as Mobile Augmented Reality (AR), possess the potential to facilitate the navigation of wheelchair users in indoor environments. In light of the above, the main motive behind this research study is to investigate computational techniques that support the use of indoor navigation based on Mobile AR, especially those which possess total control over their upper limbs. In order to achieve such, this work study proposes an architecture to support the development of these applications. Experiments were performed with wheelchair user volunteers.

These interacted with an application via touch or voice commands in order to navigate within a test environment. This environment proposes the use of navigation arrows through use of AR. The features implemented onto the proposed architecture were capable of providing significant benefits for indoor navigation. Especially, when compared to traditional techniques.

Keywords: mobile augmented reality, indoor navigation, wheelchair users.

Sumário

PUBLIKAÇÕES OBTIDAS.....	II
RESUMO	IV
ABSTRACT	5
SUMÁRIO	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE SIGLAS	11
INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL.....	18
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4 ORGANIZAÇÃO DESTA TESE	19
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 A DEFICIÊNCIA FÍSICA.....	20
2.2 REALIDADE AUMENTADA MÓVEL	23
2.2.1 <i>Introdução</i>	23
2.2.2 <i>Justificativas para o Uso da Realidade Aumentada Móvel</i>	24
2.2.3 <i>Desafios da Realidade Aumentada Móvel</i>	28
2.2.4 <i>Exemplos de Aplicações da RA Móvel</i>	30
2.2.5 <i>Tecnologias para RA Móvel</i>	36
2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
TRABALHOS RELACIONADOS	40
3.1 TRABALHOS RELACIONADOS A RA MÓVEL PARA NAVEGAÇÃO <i>INDOOR</i>	40
3.1.1 <i>Visualização de Informações Indoor</i>	40
3.1.2 <i>Navegação em Ambientes Internos</i>	42
3.2 NAVEGAÇÃO INDOOR PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA FÍSICA	44
3.3 LIMITAÇÕES DOS SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO	49
3.3 ESTUDO COMPARATIVO DOS TRABALHOS RELACIONADOS	51
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55

ARQUITETURA	56
4.1 REQUISITOS DA APLICAÇÃO	56
4.2 ARQUITETURA DO SISTEMA	61
4.2.1. <i>Camadas da Arquitetura</i>	64
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
.....	69
DESENVOLVIMENTO DAS APLICAÇÕES.....	69
5.1 DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO	69
5.1.1 <i>Tecnologias Utilizadas</i>	70
5.1.2 <i>Algoritmo de Roteamento</i>	72
5.1.3 <i>Cálculo da Triangulação na aplicação com Beacons</i>	75
5.1.4 <i>Configuração dos Ambientes de Teste</i>	76
5.2 CARACTERÍSTICAS DA APLICAÇÃO	83
5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
6.1 METODOLOGIA DA AVALIAÇÃO	95
6.1.1 <i>Introdução</i>	95
6.1.2 <i>Amostra</i>	95
6.2 RESULTADOS	96
6.2.1 <i>Testes da Aplicação de RA com marcadores</i>	96
6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	115
7.1 CONCLUSÕES.....	115
7.2 TRABALHOS FUTUROS	118
REFERÊNCIAS	119
ANEXO A.....	134
ANEXO B	136
ANEXO C	137
ANEXO D.....	139
ANEXO E	140
ANEXO F	141

Lista de Figuras

FIGURA 1. COMPONENTES PARA APLICAÇÕES DA REALIDADE AUMENTADA MÓVEL	27
FIGURA 2. DESAFIOS DA REALIDADE AUMENTADA MÓVEL	28
FIGURA 3. TECNOLOGIAS EMERGENTES E PRINCIPAIS TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS.....	31
FIGURA 4. TELA INICIAL DA APLICAÇÃO DE GEOLOCALIZAÇÃO	32
FIGURA 5. APLICATIVO DE CONCEPÇÃO DE EXPERIÊNCIAS DE FÍSICA POR MEIO DO DISPOSITIVO MÓVEL	33
FIGURA 6. TELAS DO APLICATIVO IMAGINE 3D.....	34
FIGURA 7. RECONHECIMENTO DE MARCADORES NATURAIS PARA RA MÓVEL	35
FIGURA 8. REPRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DO AMBIENTE AUMENTADO	36
FIGURA 9. MARCADORES EM UMA APLICAÇÃO PARA LOCALIZAÇÃO DE LIVROS	41
FIGURA 10. ARQUITETURA DO SISTEMA MARS PARA VISUALIZAR INFORMAÇÕES INDOOR.....	42
FIGURA 11. RESULTADOS DE NAVEGAÇÃO DE PEDESTRES POR DIFERENTES MÉTODOS.....	43
FIGURA 12. APRESENTAÇÃO DA NAVEGAÇÃO INDOOR E OUTDOOR DO PROJETO DRISHTI.....	46
FIGURA 13. MAPA PARA NAVEGAÇÃO INDOOR E OUTDOOR DO PROJETO TANIA.....	47
FIGURA 14. USUÁRIO COM DEFICIÊNCIA VISUAL UTILIZANDO A NAVEGAÇÃO OUTDOOR DO PROJETO TANIA.....	48
FIGURA 15. NAVEGAÇÃO <i>INDOOR</i> PARA DEFICIENTES FÍSICOS.....	49
FIGURA 16. DIAGRAMA DE CASOS DE USO DO PROJETO MÓDULO WEB.....	60
FIGURA 17. DIAGRAMA DE CASOS DE USO DO PROJETO MÓDULO DISPOSITIVOS MÓVEIS	60
FIGURA 18. PROPOSTA DA ARQUITETURA DE INTEGRAÇÃO	61
FIGURA 19. RELACIONAMENTO ENTRE AS INTERFACES	63
FIGURA 20. DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA DAS CAMADAS DA ARQUITETURA.....	64
FIGURA 21. INTEGRAÇÃO DAS CAMADAS DA ARQUITETURA E SEU FUNCIONAMENTO.....	65
FIGURA 22. NAVEGAÇÃO <i>INDOOR</i> PARA CADEIRANTES	73
FIGURA 23. EXEMPLO DE MATRIZ DE ADJACÊNCIA DO ALGORITMO <i>DIJKSTRA</i>	73
FIGURA 24. ARQUIVO DA MATRIZ ADJACÊNCIA DO ALGORITMO <i>DIJKSTRA</i>	74
FIGURA 25. GRAFO CORRESPONDENTE A UMA MATRIZ ADJACÊNCIA DO ALGORITMO <i>DIJKSTRA</i> (<i>FIGURA 24</i>)	74
FIGURA 26. ARQUIVO DA MATRIZ ADJACÊNCIA DO ALGORITMO <i>DIJKSTRA</i> CONSIDERANDO OBSTÁCULOS.....	75
FIGURA 27. UTILIZAÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE <i>BEACONS</i> E O USUÁRIO PARA A TRIANGULAÇÃO	76
FIGURA 28. MAPA CAD DO BLOCO 1E – ENGENHARIA ELÉTRICA DA UFU	77
FIGURA 29. MAPA CAD DO BLOCO 5S DA UFU	78
FIGURA 30. DESENHO CAD DO BLOCO 1E UTILIZADO NA PROVA DE CONCEITO DE EXPERIÊNCIA. NA ÁREA AMPLIADA SÃO MOSTRADOS OS PONTOS DE INÍCIO E CHEGADA, JUNTAMENTE COM A POSIÇÃO DE MARCADORES FIDUCIAIS (PEQUENOS QUADRADOS COLOCADOS NAS PAREDES) E UM POSSÍVEL CAMINHO (LINHA TRACEJADA).....	79
FIGURA 31. CAD DO BLOCO 5S UTILIZADO NA PROVA DE CONCEITO. SÃO MOSTRADOS OS PONTOS DE INÍCIO E DE CHEGADA, JUNTAMENTE COM A POSIÇÃO DE MARCADORES FIDUCIAIS (NÓS DO GRAFO) E UM POSSÍVEL CAMINHO (LINHA TRACEJADA) LIVRE DE OBSTÁCULOS.....	81
FIGURA 32. MAPA DE NAVEGAÇÃO E POSICIONAMENTO DE <i>BEACONS</i> NO AMBIENTE DO BLOCO 1E.	82

FIGURA 33. TIPOS DE <i>BEACONS</i> UTILIZADOS NO PROJETO.....	82
FIGURA 34. CONFIGURAÇÃO DE AMBIENTES DO INDOORAR	83
FIGURA 35. CONFIGURAÇÃO DE LUGARES / OBJETO DO M-INDOORAR	84
FIGURA 36. MARCADORES PARA LOCALIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO	85
FIGURA 37. (A) CADEIRANTE NA ENTRADA DO BLOCO 1E – UFU (B) CADEIRANTE ENTRANDO NO BLOCO 1E DA UFU	85
FIGURA 38. (A) MENU PRINCIPAL E (B) MENU DE CONFIGURAÇÕES NO DISPOSITIVO MÓVEL	86
FIGURA 39. PASSOS PARA LOCALIZAR LUGARES NO PROJETO M-INDOORAR	86
FIGURA 40. PASSOS PARA NAVEGAÇÃO <i>INDOOR</i> UTILIZAÇÃO SELEÇÃO NO PROJETO M-INDOORAR.....	87
FIGURA 41. (A) COMANDO DE VOZ PARA NAVEGAÇÃO NO AMBIENTE E (B) COMANDO DE VOZ PARA LOCALIZAÇÃO DOS LUGARES	88
FIGURA 42. NAVEGAÇÃO NO SISTEMA ATRAVÉS DE SETAS DE RA	88
FIGURA 43. USUÁRIO UTILIZANDO O SISTEMA DE NAVEGAÇÃO COM A TECNOLOGIA DE <i>BEACONS</i> (A) TELA DE SELEÇÃO DO PONTO DE INTERESSE; (B) TELA DE NAVEGAÇÃO COM O MELHOR CAMINHO.	89
FIGURA 44. USUÁRIO UTILIZANDO O SISTEMA DE NAVEGAÇÃO EM FRENTE AOS BANHEIROS DO BLOCO 1E – ELÉTRICA (UFU)	90
FIGURA 45. USUÁRIO UTILIZANDO O SISTEMA DE NAVEGAÇÃO NO CRUZAMENTO DE CORREDORES DO BLOCO 1E – ELÉTRICA (UFU).90	
FIGURA 46. USUÁRIO UTILIZANDO O SISTEMA DE NAVEGAÇÃO NO CORREDOR PRÓXIMO AO BIOLAB DO BLOCO 1E – ELÉTRICA (UFU).	91
FIGURA 47. USUÁRIO UTILIZANDO O SISTEMA DE NAVEGAÇÃO EM FRENTE AO LABORATÓRIO BIOLAB DO BLOCO 1E – FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA (UFU).	91
FIGURA 48. GRÁFICO DO TEMPO EM QUE O USUÁRIO É PORTADOR DE CADEIRAS DE RODAS	97
FIGURA 49. GRÁFICO DO GRAU DE EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO	98
FIGURA 50. (A) VOLUNTÁRIO 1 INICIANDO NAVEGAÇÃO; (B) VOLUNTÁRIO 2 INICIANDO NAVEGAÇÃO; (C) SISTEMA APRESENTANDO A DIREÇÃO (D) USUÁRIO EM OUTRO MARCADOR; (E) USUÁRIO NO LOCAL DE CHEGADA (BIOLAB).....	99
FIGURA 51. PERCURSO PERCORRIDO PELOS CADEIRANTES NO BLOCO 5S.....	101
FIGURA 52. ETAPAS DE NAVEGAÇÃO DE UM CADEIRANTE NO BLOCO 5S.....	103
FIGURA 53. OUTRAS ETAPAS DA NAVEGAÇÃO DE CADEIRANTES NO AMBIENTE INTERNO DO BLOCO 5S	104
FIGURA 54. GRÁFICO DE TEMPO DE NAVEGAÇÃO POR USUÁRIO.....	105
FIGURA 55. GRÁFICO DE SATISFAÇÃO DE NAVEGAÇÃO POR USUÁRIO	106
FIGURA 56. GRÁFICO DO TEMPO EM QUE O USUÁRIO É PORTADOR DE CADEIRAS DE RODAS	107
FIGURA 57. GRÁFICO DO GRAU DE EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO	108
FIGURA 58. PERCURSO DA NAVEGAÇÃO COM <i>BEACONS</i> NO BLOCO 1E.....	109
FIGURA 59. <i>BEACONS</i> NO AMBIENTE INTERNO DO BLOCO 1E.....	110
FIGURA 60. ETAPAS DE NAVEGAÇÃO DE UM CADEIRANTE NO BLOCO 5S.....	111
FIGURA 61. GRÁFICO DE TEMPO DE NAVEGAÇÃO POR USUÁRIO NA APLICAÇÃO COM <i>BEACONS</i>	112
FIGURA 62. GRÁFICO DE SATISFAÇÃO DE NAVEGAÇÃO POR USUÁRIO	112

Lista de Tabelas

TABELA 1. TABELA DE COMPARAÇÃO DE ALGUMAS DAS TECNOLOGIAS DE REALIDADE AUMENTADA.	38
TABELA 2. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE RA MÓVEL PARA INDIVÍDUOS CADEIRANTES	53

Lista de Siglas

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
ACU	<i>Accuracy</i>
ANDAR	<i>Android Augmented Reality</i>
APARU	Associação os Paraplégicos de Uberlândia
CEP	Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DAO	<i>Data Access Object</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
JSP	<i>JavaServer Page</i>
MVC	<i>Model View Controller</i>
NEI	<i>Navigation Efficiency Index</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
RF	Requisito Funcional
RNF	Requisito Não Funcional
RV	Realidade Virtual
RA	Realidade Aumentada
RAM	Realidade Aumentada Móvel
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
UC	<i>Use Case (Caso de Uso)</i>
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização e Justificativa

A expressão Tecnologia Assistiva, de acordo com o Comitê de Ajudas Técnicas - Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República, diz respeito a produtos, recursos, metodologias, tecnologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (Brasil, 2007).

Apesar dos avanços tecnológicos das últimas décadas, uma grande porcentagem de pessoas com deficiência ainda enfrentam enormes desafios para realizar as atividades básicas da vida diária. Neste contexto, os recursos de Tecnologia Assistiva podem ser usados para fornecer vários meios para melhorar a qualidade de vida e inclusão social dessas pessoas (Santarosa, Conforto *et al.*, 2012; Sartoretto e Bersh, 2015). De fato, a utilização da Tecnologia Assistiva é um recurso que deve atender a

maioria das pessoas, promovendo a inclusão dos mesmos, independente de suas diferenças (Sartoretto e Bersh, 2015) .

Pessoas com limitações motoras constituem um desafio na construção de navegação interior e serviços baseados em localização. A dificuldade de mobilidade é um dos problemas mais comuns experimentado por pessoas com deficiência física e atinge uma ampla gama da população mundial (Alm, Arnott *et al.*, 1998; Sanchez, Aguayo *et al.*, 2007; Mirza, Tehseen *et al.*, 2012; Kouroupetroglou, 2013). Ainda, estudos mostram que as limitações de mobilidade foram as principais causas da redução de aspectos funcionais entre os adultos (Mirza, Tehseen *et al.*, 2012).

Os indivíduos com dificuldades de mobilidade, associados à deficiência de membros inferiores, muitas vezes enfrentam enormes desafios para participar das atividades do dia-a-dia. Isto porque, em geral, o fazem sem a ajuda de outras pessoas. Usuários com deficiências físicas apresentam problemas de mobilidade, tais como dificuldades de acesso ao seu destino final (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2006) (Sanchez, Aguayo *et al.*, 2007). Dentre estes se destacam os cadeirantes.

Para muitos, o uso de cadeiras de rodas é fundamental para proporcionar mobilidade e inclusão social. No entanto, eles ainda enfrentam uma série de desafios para funcionar corretamente em nossa sociedade. Entre as muitas dificuldades, uma em especial se destaca: a navegação em ambientes internos (*indoors*). Os cadeirantes, muitas vezes, têm a necessidade de encontrar o “melhor” caminho de navegação em grandes ambientes internos, tais como hospitais, terminais de ônibus, supermercados e *shoppings centers* (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2005).

O melhor caminho refere-se àquele com facilidade de acesso e, de preferência, o menor caminho. Por exemplo, um caminho sem escadas ou um caminho que passa por rebaixamentos de calçadas. Isto é, o caminho que passa por pontos de interesse do usuário de forma rápida e segura. Neste sentido, existe um conjunto de caminhos possíveis para navegação, sendo que alguns proporcionam maior facilidade no acesso à localização de um determinado lugar.

Com a proliferação de tecnologias de rede sem fio, os usuários estão interessados, principalmente, em serviços avançados que tornam o ambiente altamente inteligente

para facilitar, significativamente, suas atividades (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2005). Entretanto, as primeiras tentativas de sistemas desenvolvidos para atender as necessidades especiais de determinadas categorias de usuários cadeirantes, encontram-se bastante limitadas (Alm, Arnott *et al.*, 1998; Stefanov, Bien *et al.*, 2004; Park, Bien *et al.*, 2006; Deruwe e Wall, 2008; Postolache, Silva Girao *et al.*, 2011). Dentre as limitações, encontram-se a dificuldade de mobilidade. Muitas vezes, as mãos podem estar ocupadas manipulando a cadeira de rodas, ou até mesmo o usuário não consegue realizar nenhuma atividade manual. Além disso, o sistema de navegação deve considerar o ritmo, a altura e o melhor caminho do usuário. Estas características não são suportadas pelos sistemas atuais (Kouroupetroglou, 2013) (Zhang, Li *et al.*, 2016). Por uma questão de fato, os sistemas de navegação apropriados para esta classe de usuários também devem considerar as várias deficiências e limitações físicas. Em muitas ocasiões, a tarefa de conduzir a cadeira de rodas pode ser já demasiado exigente para alguns usuários, enquanto para outros, atingir um botão de chamada de um elevador ou manipular um dispositivo portátil pode até ser impossível. Apesar dos vários esforços, os sistemas encontrados na literatura ainda não possuem recursos adequados para superar totalmente essas limitações (Tsetsos *et al.*, 2006; Mirza *et al.*, 2012; Kouroupetroglou, 2013).

Tais sistemas, contudo, não realizam uma avaliação da utilização real por parte dos indivíduos que utilizam cadeiras de rodas. Além disso, na maioria desses sistemas falta uma abordagem genérica suficiente para atender os requisitos de aplicações e limitações de grande parte dos cadeirantes no processo de navegação. De fato, o desenvolvimento de um sistema de navegação em interiores para cadeirantes com limitações motoras é de grande importância, desde que seja capaz de marcar e identificar os locais que podem ser inacessíveis ou perigosos (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2006; Mirza, Tehseen *et al.*, 2012; Kouroupetroglou, 2013).

Igualmente, a maior parte das pesquisas não apresentam informações relevantes no ambiente para os usuários cadeirantes, tais como, informações sobre rampas de acesso, balcões, prateleiras, mobiliário, escadas e elevadores que delimite os espaços internos de uma edificação, e também não realizam avaliações do *feedback* dos usuários para descobrir o perfil do indivíduo que utiliza o sistema de navegação.

Uma alternativa de tecnologia que pode ser utilizada para apresentar estas informações é a tecnologia de Realidade Aumentada Móvel (Llerer, Feiner *et al.*, 1999; Marston, Loomis *et al.*, 2006) (Blum, Bouchard *et al.*, 2011) (Mulloni, Grubert *et al.*, 2012) (Rovadosky, Pavan *et al.*, 2012) (Ferreira, Santos *et al.*, 2012) (Rehman e Cao, 2015). Nesta conjuntura, nota-se a necessidade de investigação do uso da navegação *indoor*, utilizando serviços móveis, para usuários cadeirantes.

Com efeito, a tecnologia de Realidade Aumentada (RA) foi escolhida por apresentar um potencial de fornecer uma interface natural como tecnologia pervasiva para ambientes de grande escala com o uso da Computação Ubíqua (Denning e Metcalfe, 1998). A Computação Ubíqua, ou mais comumente denominada como Computação Pervasiva, descreve as maneiras pelas quais os modelos tecnológicos atuais, com base em três projetos básicos: dispositivos inteligentes (celulares e dispositivos sem fio), ambientes e interações inteligentes (entre dispositivos), relacionam-se e apoiam-se a visão de computação para uma maior gama de dispositivos de computador, utilizado em diversos ambientes e atividades humanas (Poslad, 2009).

Assim, a Computação Pervasiva, com o uso de dispositivos móveis, tem estimulado o desenvolvimento de aplicações úteis para as atividades do cotidiano dos usuários cujos interesses estão focados, principalmente, em melhorar o estilo de vida das pessoas. Em particular, de pessoas que utilizam cadeiras de rodas (Chiara, Paolino *et al.*, 2010). Dessa forma, quando se discute sobre o desenvolvimento de aplicações para auxiliar pessoas com deficiência, existe uma tendência mundial no sentido de valorizar a utilização da Tecnologia Assistiva agregada à Computação Pervasiva (Kotsakos, Sakkos *et al.*, 2013; Ahluwalia, Varshney *et al.*, 2014; Hervas, Bravo *et al.*, 2014).

O planejamento de rotas para sistemas de navegação no contexto de dirigir carros e outros veículos tornou-se comum ao longo dos últimos anos. No entanto, com o advento recente das poderosas tecnologias móveis e inteligente, surgiu a necessidade para o desenvolvimento de sistemas para ajudar pessoas a encontrar um lugar preferido em ambiente urbano (Chakraborty e Hashimoto, 2010). Entretanto, ao

aplicar estas técnicas para portadores de cadeiras de rodas, os sistemas falham em aspectos tais como precisão na indicação do caminho a ser seguido e atendimento das dificuldades de mobilidade dos cadeirantes (Yayan, Akar *et al.*, 2014). Tais limitações impedem que os cadeirantes possam navegar com segurança e agilidade em ambientes internos.

Em geral, as pesquisas sobre navegação interior (*indoor*) não progrediram significativamente (Golfarelli, Maio *et al.*, 2001; Anagnostopoulos, Tsetsos *et al.*, 2005; Zhang, Li *et al.*, 2016). No entanto, desenvolvimentos recentes em tecnologias de computação móvel e sem fio resultou em uma explosão de serviços para celular e pesquisas nas áreas de visualização de informações e localização têm aumentado (Xing, Alpcan *et al.*, 2009).

Os sistemas de posicionamento em ambientes externos têm alcançado grande sucesso, conduzindo ao desenvolvimento de sistemas comerciais (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2006; Hansen e Thomsen, 2007; Chakraborty e Hashimoto, 2010). No entanto, o campo de investigação em navegação interior ainda não atingiu o mesmo sucesso como a de posicionamento exterior (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2005; Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2006; Yohan, Talipov *et al.*, 2012; Kouroupetroglou, 2013). Por exemplo, inúmeros sistemas de navegação são baseados em dados de GPS. No entanto, os sinais de GPS podem ser fracos ou imprecisos quando operados em ambientes fechados, resultando em um sinal insuficiente e pode tornar a navegação impossível. Ou seja, não existem sistemas de posicionamento interior generalizada para qualquer tipo de usuário e serviços disponíveis no momento. Isso dá aos desenvolvedores a oportunidade de criar produtos personalizados que apresentam acessibilidade e considerem as necessidades e habilidades do usuário (Kouroupetroglou, 2013).

Adicionalmente, os sistemas encontrados não apresentam, em tempo real, informações para os cadeirantes a medida que eles se locomovem. Existem algumas técnicas atuais para navegação *indoor* que podem ser usadas, tais como a contagem de passos (Terra, Figueiredo *et al.*, 2013; Marouane, Ebert *et al.*, 2016), mas isso não se aplica no caso de uma pessoa que utiliza cadeira de rodas.

Além disso, a falta de informações e dados para apoiar a navegação de pedestres impõe um desafio mais difícil de projetar sistemas generalizados para cadeirantes, especialmente, para encontrar rotas preferenciais em ambientes complexos e desconhecidos (Chakraborty e Hashimoto, 2010).

Portanto, usuários de cadeiras de rodas constituem uma classe de usuários "desafio" para um sistema de navegação (Kouroupetroglou, 2013).

Trabalhos recentes têm proporcionado evoluções importantes para facilitar a navegação interior para cadeirantes (Cheein et al, 2011;. De La Cruz et al, 2010;. De La Cruz et al, 2011)(Yayan, Akar *et al.*, 2014; Marouane, Ebert *et al.*, 2016; Zhang, Li *et al.*, 2016). No entanto, estas novas tecnologias ainda não incorporam as muitas vantagens da Realidade Aumentada como um meio de facilitar a navegação interior para cadeirantes, tendo em conta as suas necessidades e habilidades (Golfarelli et al, 2001;. Kouroupetroglou, 2013; Tsetsos et al, 2005; Parker e Tomitsch, 2014). Na verdade, a esta data, não foram encontrados na literatura, sistemas que utilizam a Realidade Aumentada Móvel para a navegação interior em tempo real, abordando, ao mesmo tempo, questões de acessibilidade. Além disso, a falta de dados de apoio à navegação interior também representa um desafio difícil, principalmente quando se trata do projeto de um sistema de navegação generalizada para cadeirantes. Em outras palavras, um sistema de navegação mais flexível capaz de incorporar as preferências do usuário ao fornecer um conjunto claro de escolhas é necessário, a fim de satisfazer um amplo espectro de grande parte da sociedade (Chakraborty e Hashimoto, 2010).

A escassez de pesquisas usando AR móvel para navegar em ambientes internos e que associam técnicas que identificam melhores rotas, considerando as limitações do usuário e ainda direcionados para usuários de cadeira de rodas foi a principal motivação desta pesquisa. Acredita-se que essa inclusão vai melhorar a acessibilidade e facilitar a navegação em vários ambientes, tais como centros comerciais, hospitais e locais de trabalho.

Deste modo, esta pesquisa visa explorar a utilização da Realidade Aumentada, com o uso de dispositivos móveis para a navegação em ambientes internos, objetivando auxiliar indivíduos cadeirantes, a fim de avaliar sua adequabilidade para este propósito.

Diante disso, o sistema proposto pode ser de grande utilidade para vários cadeirantes por aumentar significativamente a orientação e a mobilidade destes indivíduos tornando suas vidas mais fáceis, sem qualquer ajuda externa.

1.2 Objetivo Principal

Esta pesquisa tem por objetivo desenvolver uma aplicação e investigar técnicas computacionais que suportem o uso da navegação *indoor* baseado na Realidade Aumentada Móvel para indivíduos que utilizam cadeiras de rodas e que possuem o perfil de paraplégico.

1.3 Objetivos Específicos

Com o propósito de alcançar o objetivo principal deste projeto, foram estipulados os objetivos específicos listados a seguir:

- especificar as necessidades/requisitos de um sistema de Realidade Aumentada Móvel para auxiliar na navegação *indoor* de indivíduos cadeirantes;
- propor uma arquitetura para o desenvolvimento de sistemas de navegação e visualização de informação para usuários cadeirantes, não tetraplégicos, e que atendam os requisitos identificados no item anterior;
- implementar a arquitetura proposta;
- incorporar comandos de voz ao sistema;
- validar o sistema com profissionais da área;
- realizar testes do sistema com usuários cadeirantes;
- aplicar um questionário de avaliação com estes usuários;

- analisar e avaliar os resultados obtidos da utilização do sistema.

Enfim, espera-se que os resultados deste estudo possam contribuir, de alguma forma, com as discussões atuais e futuras em torno da temática sobre o uso da Realidade Aumentada Móvel em ambientes fechados voltado para pessoas que fazem uso de cadeiras de rodas, mas que possuem mobilidade nos membros superiores.

1.4 Organização desta Tese

No Capítulo 2 é realizada a fundamentação teórica da tese englobando, inicialmente, a definição e principais características da deficiência física. Posteriormente, são apresentadas as teorias e ferramentas acerca da Realidade Aumentada Móvel, comumente encontradas na literatura.

No Capítulo 3 é feita uma apresentação do estado da arte referente às pesquisas realizadas relacionadas a navegação *indoor* com o uso da RA móvel e outras tecnologias. Sendo assim, é feita uma revisão bibliográfica desse tipo de aplicações para deficientes físicos.

A arquitetura do sistema desenvolvido é apresentada no Capítulo 4 e as etapas do desenvolvimento e detalhes da implementação das aplicações são apresentadas no Capítulo 5.

No Capítulo 6 são apresentadas a análise dos resultados da avaliação do sistema e a metodologia adotada na avaliação.

Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões da tese, suas contribuições e, ainda, sugestões de possíveis trabalhos futuros que continuariam a pesquisa realizada.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

A presente pesquisa aborda a avaliação de uma aplicação de Realidade Aumentada Móvel cadeirantes. Dessa forma, neste capítulo é feita uma fundamentação teórica sobre o tema. Além disso, são apresentados os principais conceitos envolvidos na utilização de RA para dispositivos móveis.

2.1 A Deficiência Física

Existem diferentes tipos de deficiências que podem afetar as pessoas. Alguns dos tipos incluem intelectual, sensorial, mental ou física. O foco deste trabalho são indivíduos com deficiência física do tipo cadeirante com capacidade motora sobre membros superiores.

Segundo o decreto 3.298, de 20 de dezembro de 1999 (Brasil, 1999), "a deficiência permanente é aquela que ocorreu e se estabilizou durante um período de tempo suficiente a não permitir recuperação ou ter probabilidade de que se altere,

apesar de novos tratamentos". E também enquadra uma pessoa portadora de deficiência em uma das seguintes categorias (Brasil, 1999):

- Deficiência Física: alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física;
- Deficiência Auditiva: perda parcial ou total das possibilidades auditivas sonoras, variando em graus e níveis;
- Deficiência Visual: é a perda ou redução da capacidade visual em ambos os olhos, com carácter definitivo, não sendo susceptível de ser melhorada ou corrigida com o uso de lentes e/ou tratamento clínico ou cirúrgico;
- Deficiência Mental: funcionamento intelectual geral significativamente abaixo da média, oriundo do período de desenvolvimento, concomitante com limitações associadas a duas ou mais áreas da conduta adaptativa ou da capacidade do indivíduo em responder adequadamente às demandas da sociedade;
- Deficiência Múltipla: é a associação, no mesmo indivíduo, de duas ou mais deficiências primárias (mental, visual, auditiva e/ou física), com comprometimentos que acarretam consequências no seu desenvolvimento global e na sua capacidade adaptativa.

Este trabalho trata-se de pessoas com deficiência física do tipo cadeirante. Segundo o Decreto nº 5.296/2004 (**Decreto nº 5.296**, 2004), os usuários de cadeira de rodas são pessoas que possuem limitações ou incapacidades para o desempenho de atividades e alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física.

No contexto dos cadeirantes, acessibilidade significa garantir espaços que apresentam condições de acesso a todas as pessoas, independente de suas habilidades individuais. O acesso aos lugares públicos é um direito de qualquer cidadão. Todos têm direito de viver livremente como consta no artigo 5º da Constituição Federal (1988). Além disso, a acessibilidade é vista como um meio de possibilitar a participação das pessoas nas atividades cotidianas que ocorrem no espaço construído, com segurança, autonomia e conforto (Moraes, 2007).

A dificuldade de mobilidade é um dos problemas mais comuns que pessoas com deficiência física sofrem e atinge uma ampla gama da população mundial (Moura, Oliveira *et al.*, 2015). As limitações de mobilidade são a principal causa de limitações funcionais entre os adultos. E esta limitação pode acontecer devido a várias doenças tais como artrite reumatóide, osteoartrite, esclerose múltipla, distrofia muscular, paralisia, doença de *Parkinson*, acidente vascular cerebral, entre outras, e o dispositivo mais comum para auxiliar estas pessoas é a cadeira de rodas (Mirza, Tehseen *et al.*, 2012).

Devido à mudança da estrutura etária das populações de hoje, as necessidades para desenvolvimento de dispositivos e tecnologias para apoiá-los têm aumentado. Tradicionalmente, o usuário com cadeira de rodas, movidos automaticamente ou manualmente, é o mais popular e importante da reabilitação e dispositivo de auxílio para deficientes e idosos (Ju, Shin *et al.*, 2009).

As cadeiras de rodas são uma ferramenta fundamental para aqueles que por conta de alguma doença, lesão medular e outros motivos perderam a mobilidade. Neste sentido, as cadeiras de rodas inteligentes receberam atenção considerável como auxiliares de mobilidade. Adicionar a tecnologia em cadeiras de rodas é importante para auxiliar o usuário cadeirante em suas necessidades particulares.

Apesar de várias tecnologias terem sido implementadas em cadeira de rodas, sempre existe a necessidade de uma melhor tecnologia para ajudar essas pessoas (Mirza, Tehseen *et al.*, 2012).

Analisando as soluções disponíveis para acessibilidade de cadeirantes, observou-se que estas se enquadram, geralmente, em duas categorias: acessibilidade *web* (W3c, 2015) e tecnologias assistivas, dentre as quais existem muitos softwares aplicativos específicos para acessibilidade (Pupo, Melo *et al.*, 2006). No primeiro caso são apresentados requisitos para construção de sites para Internet, e na segunda abordagem, são apresentadas soluções que facilitam o uso de computador ou dispositivos eletrônicos, de acordo com a deficiência do usuário, para uma finalidade específica.

Porém, constatou-se a grande necessidade de soluções que possibilitem o cadeirante a liberdade de deslocamento, em diversos contextos diferentes, assistido por tecnologias que amparem suas necessidades de acessibilidade.

2.2 Realidade Aumentada Móvel

Esta seção apresenta uma abordagem teórica sobre a Realidade Aumentada Móvel (RA Móvel) e algumas possibilidades de sua utilização, por meio de exemplos de aplicações. Além disso, conceitos importantes, justificativas, desafios e as principais tecnologias para uso de RA Móvel são apresentados.

2.2.1 Introdução

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia de interface do usuário extremamente promissora e cada vez mais viável. Recentemente, a Realidade Aumentada (AR) tem recebido grande atenção, devido à iminente liberação de novos dispositivos pelas empresas como a Microsoft e a empresa apoiada pela Google Magic Leap (Maia, Viana *et al.*, 2016).

A RA tornou-se um tema popular no campo da pesquisa acadêmica porque permite ao usuário uma visão de objetos virtuais sobrepostos ou compostos com o mundo real (Chang e Tan, 2010). De fato, sistemas de RA conseguem simular e apresentar as leis da Física, mesmo àqueles que não são possíveis de visualizar no mundo real, como por exemplo, a visualização do campo magnético de um motor elétrico. A RA é uma área enriquecida por ambientes reais emergentes e por objetos do mundo, predominantemente, reais como modelos geométricos, imagens, sons, textos e melhorando a percepção do usuário, sendo um campo multidisciplinar que pode ser adotado para ferramentas de Visualização de Informação e Geolocalização (Meiguins, Do Carmo *et al.*, 2006).

A Realidade Aumentada Móvel (RA Móvel) é uma das áreas de pesquisa que mais crescem, parcialmente devido ao surgimento de telefones inteligentes, tais como os *smartphones*, que proporcionam uma plataforma onipresente, isto é, que está

presente em toda parte, e poderosa que facilita o acesso da população à informação (Azuma, Billinghurst *et al.*, 2011). Por exemplo:

- Ruas e avenidas podem ter informação sobre qualidade do ar, serviços culturais, pontos turísticos, etc;
- Usuários de ônibus podem saber quais linhas levam ao destino desejado, onde descer do ônibus, etc.

A Realidade Aumentada Móvel usa o fluxo de vídeo ao vivo de um *smartphone* e enriquece-o com gráficos ou textos sobrepostos ao mundo real. Os smartphones modernos oferecem a oportunidade de criar aplicações de Realidade Aumentada (RA) em que é criado um vídeo instantâneo ao vivo envolvendo o mundo (representando a realidade) e enriquecendo-o gráficos e/ou informações em tempo real (representando um aumento da realidade) (Hürst e Vriens, 2016).

Neste contexto, esta seção objetiva apresentar os desafios da construção de aplicações para dispositivos móveis com o uso de RA. Para atingir este objetivo, seguiu-se o seguinte roteiro: apresentam-se importantes referências à Realidade Aumentada Móvel e uma avaliação de suas tecnologias existentes. A seguir, demonstra-se a aplicabilidade da RA Móvel, distinguindo elementos relevantes do processo de desenvolvimento.

2.2.2 Justificativas para o Uso da Realidade Aumentada Móvel

O mercado de celulares está crescendo cada vez mais. Estudos mostram que em 2016 mais de 4,5 bilhões de pessoas possuem um aparelho celular, e isso corresponde a mais da metade da população mundial (Statista, 2017). Os usuários estão procurando celulares e smartphones que possuem diversos recursos, tais como câmeras, *bluetooth*, jogos, ótima interface visual, GPS, acesso a internet e e-mails, entre outras aplicações. Sendo assim, a mobilidade está cada vez mais conhecida e utilizada, na qual surge a necessidade de mais aplicações que executem em celulares e smartphones e sincronizem informações das organizações.

As pessoas estão em constante deslocamento, mas, ao mesmo tempo necessitam estar conectadas aos seus amigos, aos familiares e ao trabalho. Isso é possível devido ao surgimento das tecnologias móveis. Atualmente, as pessoas estão tão acostumadas a estarem conectadas o tempo todo que podem ficar ansiosas se a bateria parar de funcionar ou se não encontrarem seus dispositivos móveis. Isso é denominado de *nomofobia* (Woodill, 2010). Dentre as vantagens da mobilidade, destaca-se que as aplicações podem ser utilizadas de qualquer lugar e em qualquer momento.

Os dispositivos móveis podem ser ferramentas auxiliares à criação de experiências de aprendizagem e, associados a RA, tornarem-se estratégias de desenvolvimento em outras áreas, tais como jogos e visualização da informação. Com efeito, *smartphones* e *tablets* são boas plataformas para Realidade Aumentada e facilitam a comunicação, via rede sem fio. Assim, como usuários de smartphones crescem, as aplicações de Realidade Aumentada estão em constante crescimento (Moon-Sub e Jong-Il, 2011).

Os principais benefícios do uso de dispositivos móveis para a RA incluem: a portabilidade, a mobilidade e o acesso, de forma flexível, a diversos recursos e em tempo real, economia de tempo, rapidez da comunicação, capacitação e envolvimento dos alunos e o fato da aprendizagem móvel (*mobile learning*), ser abrangente e dinâmica (Woodill, 2010).

Em 2010, um relatório da ONU apresentou que seis em cada dez pessoas no mundo têm assinatura de telefonia móvel, o que significa que os celulares representam a comunicação tecnológica escolhida nos últimos anos, especialmente, nos países mais pobres (Woodill, 2010).

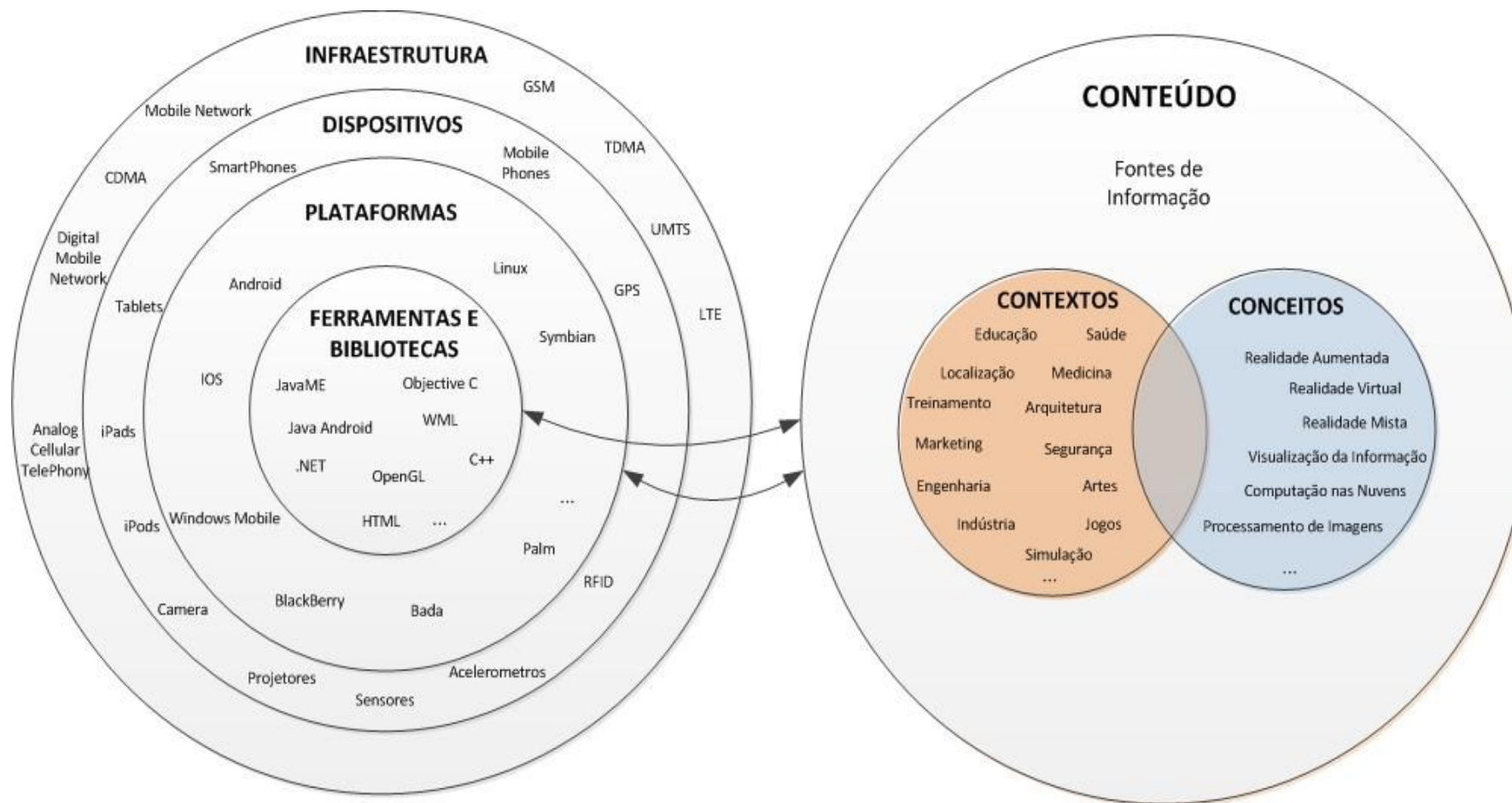
Alguns fatores de mercado contribuem para efetivação de aplicativos e software com a RA. E, com a diminuição do custo dos equipamentos, se tornam cada vez mais acessíveis nas diversas classes sociais. A amplitude em que a RA vem atuando se torna imprescindível e coerente para várias soluções, contribuindo para o desenvolvimento social e tecnológico (Moon-Sub e Jong-Il, 2011).

No desenvolvimento de aplicações utilizando a Realidade Aumentada Móvel, para acessar ou armazenar informações, os componentes propostos na Figura 1 devem ser considerados (Jr, Oliveira *et al.*, 2013).

De acordo com a Figura 1, os dispositivos, tais como *smartphones* e *tablets*, são executados em uma infra-estrutura de rede e rodam em plataformas, por exemplo, no Android ou no iOS. Nas plataformas são instaladas as ferramentas, as tecnologias e as bibliotecas que permitem que as aplicações acessem as fontes de informações (Cardoso, Lamounier *et al.*, 2012).

Além disso, o conteúdo inclui informações de contexto que são aplicações em diversas áreas, tais como Educação, Medicina, Jogos, Engenharia, entre outros, e os conceitos são as técnicas e formas que são usadas para acessá-los, tais como a Realidade Aumentada e a Visualização de Informação.

Figura 1. Componentes para aplicações da Realidade Aumentada Móvel



Fonte: (Jr, Oliveira *et al.*, 2013)

2.2.3 Desafios da Realidade Aumentada Móvel

Alguns desafios que devem ser considerados para a RA Móvel são: o tamanho da tela, o consumo de energia, precisão de localização, câmera de qualidade, processamento e memória, registro, segurança, tempo real, o desempenho, cobertura, a gerência de grande quantidade de dados, dinamicidade, interação, conteúdo (Jr, Oliveira *et al.*, 2013).

Estes desafios são mostrados na Figura 2, que classifica cinco categorias: hardware, aplicação, rede, meio ambiente e utilizador.

Figura 2. Desafios da Realidade Aumentada Móvel



Fonte: (Jr, Oliveira *et al.*, 2013)

Primeiramente, no desenvolvimento de uma aplicação móvel é necessário identificar quais são os recursos de hardware disponíveis em todos os dispositivos que se deseja atingir com a aplicação, como câmera e teclado, que estão presentes na maioria dos dispositivos existentes atualmente.

No entanto, para os outros tipos de sensores, não se pode garantir que todos devem funcionar ou existir em todo dispositivo móvel.

Dessa maneira, é importante identificar o modelo de resposta dos sensores desenvolvidos e como eles serão utilizados no software, viabilizando o uso da aplicação mesmo com recursos limitados. Caso uma aplicação utilize um sensor que se encontra na maioria dos dispositivos, como bússola, giroscópio e GPS, existem algumas particularidades. Por exemplo, a precisão do GPS não é alta em ambientes *indoor* e alguns deles possuem câmera de baixa qualidade. Deve-se tratar e apresentar a aplicação também nesses dispositivos de baixo desempenho, mesmo que seja de forma degradada ou apresentando uma precisão inferior, evitando que o usuário execute a aplicação sem travamento ou que a aplicação fique aguardando a resposta a esses sensores.

A tela também pode dificultar o uso da aplicação. Para evitar complicações, deve-se trabalhar com layouts dinâmicos, diminuindo ícones, ocultando menus, trabalhando com diferentes configurações de tela, mantendo a aplicação funcionando em telas de menor tamanho e resolução.

Para dispositivos móveis, o hardware nem sempre apresenta alta duração de bateria, grande capacidade de processamento e memória, o que pode causar baixo desempenho, limitando as funcionalidades e, em segundo momento, a utilização adequada de um dispositivo móvel.

Outro desafio se refere ao registro da aplicação, ou seja, se haverá controle de usuário, trazendo maior segurança com a devida autenticação da aplicação, quando disponível uma conexão de rede local ou Internet. Essas necessidades devem ser avaliadas, de acordo com a disponibilidade da infraestrutura de servidores, arquitetura de hardware e software.

Um grande desafio é a questão de rede relacionado a velocidade de tráfego, área de cobertura das empresas de telefonia e o quanto uma dada aplicação é

dependente dessa rede. Para navegação *indoor*, esse problema pode ser minimizado, utilizando-se uma rede *wireless*. Porém, para ambientes *outdoor* tem-se uma dependência das redes de telefonia.

O quarto desafio refere-se ao ambiente, que, atualmente, possui uma grande quantidade de dados. Quesitos como a dinamicidade e flexibilidade de atualização, além do provimento de dados, em tempo real, tornam-se demandas de solução, nem sempre trivialmente solucionadas.

O quinto desafio apresentado na Figura 3 refere-se ao usuário em si. O perfil do usuário pode exigir a disponibilização de elementos de auxílio (*help*), além da necessidade de aprendizagem das diferentes formas de interação com a solução de RA no dispositivo e a busca de novas informações.

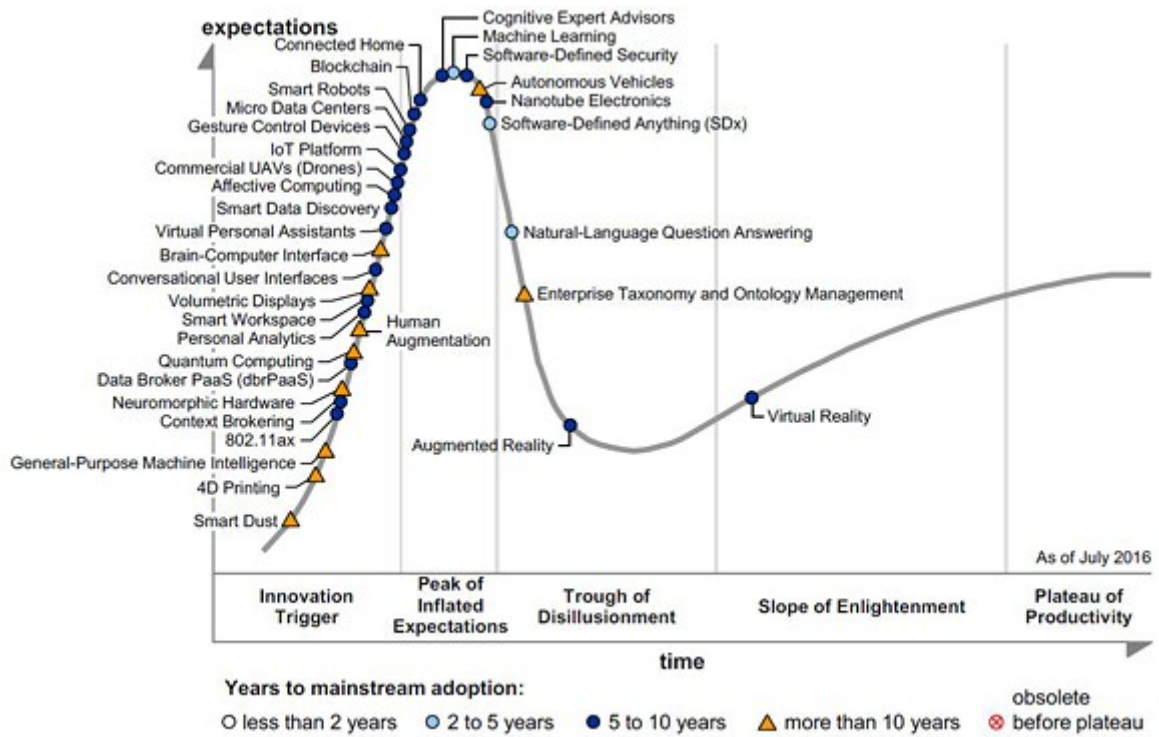
Outro quesito relevante refere-se à poluição visual que pode acontecer, por sobreposição de grande conjunto de informações visuais, por exemplo, sobre um elemento (ou posição) da cena real.

Todas essas questões acarretam em tempo e custo de desenvolvimento e é importante que sejam analisadas e inseridas em um projeto em fase de planejamento do software.

2.2.4 Exemplos de Aplicações da RA Móvel

A quantidade de pesquisas e experiências de utilização da RA com dispositivos móveis ainda é recente. Mas, tende a crescer, em função dos avanços da tecnologia e dos benefícios que essa tecnologia oferece. Uma pesquisa realizada por *Gartner* no *Hype Cycle* em 2016 que a destaca como uma tecnologia emergente nos próximos 5 a 10 anos, mostrado na Figura 3. Anualmente, a empresa realiza projeções com algumas perspectivas tecnológicas e tendências com base em opiniões de estrategistas de negócios, líderes de pesquisa e desenvolvimento, empreendedores e especialistas para compreender o que as organizações devem observar em seus portfólios de inovação nos próximos anos (Forni, 2016).

Figura 3. Tecnologias Emergentes e Principais Tendências Tecnológicas



Source: Gartner (July 2016)

Fonte: (Forni, 2016)

Nesta pesquisa, segundo a *Gathner* (2016), as principais tendências tecnológicas e experiências transparentes e imersivas continuarão a tornar-se mais centrada no ser humano, a ponto de introduzir transparência entre as pessoas, as empresas e as coisas. Essa relação se tornará muito mais interligada à medida que a evolução da tecnologia se torne mais adaptável e contextual dentro do local de trabalho, em casa e interagindo com empresas e outras pessoas. Dentre as tecnologias a serem consideradas incluem a Realidade Aumentada, a Realidade Virtual e os dispositivos de controle de gestos (Forni, 2016).

Dentre as aplicações que utilizam a RA Móvel, encontra-se o trabalho em (Jr, Oliveira *et al.*, 2012) que utiliza a localização geográfica como elemento de RA, o aplicativo é executado em espaço aberto, ao ar livre. O objetivo da aplicação é apresentar a geolocalização dentro de uma área determinada. Esta aplicação utiliza a tecnologia Realidade Aumentada acrescentando ao mundo real, visualizado através

da câmera do dispositivo, a informação virtual através de uma seta indicando a direção para localizar o destino em relação ao ponto onde o usuário está.

Na tela inicial da aplicação são apresentados os botões para ativar o GPS e a bússola, ativá-los, será exibida uma tela de visualização da seta direcional. O usuário deverá, então utilizar a seta para se guiar em direção ao ponto de destino. De acordo com a movimentação do usuário a direção e a distância é alterada em relação ao destino, conforme Figura 4.

Figura 4. Tela inicial da aplicação de geolocalização .

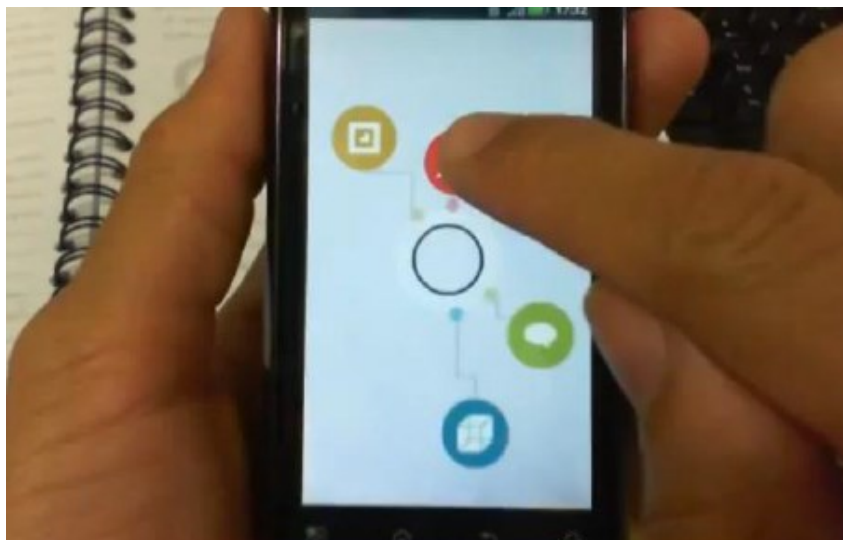


Fonte: (Jr, Oliveira et al., 2012).

O trabalho de (Braga, Cardoso *et al.*, 2012), denominado Imagine3D, aborda as práticas atuais de *mobile-learning* e apresenta uma estratégia de desenvolvimento de aplicações educacionais, com uso de dispositivos móveis associados a Ambientes Virtuais e Realidade Aumentada. São adaptadas técnicas de reconhecimento de padrões de gestos e toques, gerando ambientes de Realidade Aumentada como suporte ao ensino. Como prova de conceito, implementou-se o aplicativo mostrado

na Figura 5, que permite a concepção de experiências de Física (Mecânica Clássica) através do dispositivo móvel.

Figura 5. Aplicativo de concepção de experiências de Física por meio do dispositivo móvel



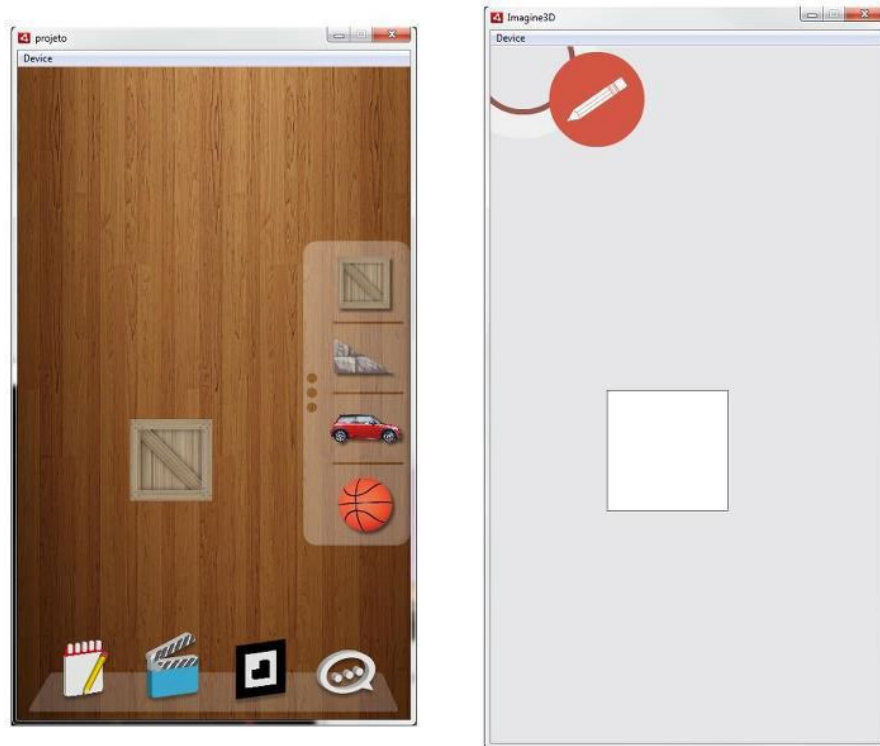
Fonte: (Braga, Cardoso *et al.*, 2012)

Como mencionado anteriormente, existem desafios para desenvolvimento de uma aplicação de RA móvel referentes à eficácia do reconhecimento de padrões gestuais, que não envolve apenas a boa aquisição das coordenadas de cada trecho do caminho percorrido, mas também dos parâmetros de tempo de aquisição, número de pontos coletados e tipo de resposta esperada. Para a coleta dos dados de forma correta referente aos gestos, foram levadas em consideração as características físicas do dispositivo móvel, como o tamanho, resolução da tela e o tipo de display adotado (resistivo ou capacitivo).

Com a finalidade de garantir a coerência dos resultados, foi criado um dicionário de gestos utilizando a mesma metodologia de captura de dados para comparação.

A fim de manter o procedimento o mais intuitivo possível, optou-se por criar um ambiente de desenho comum, como os editores conhecidos (Figura 6), de tal forma que, usando toques com um dedo, o usuário cria suas formas simulando o uso de um lápis sobre o papel.

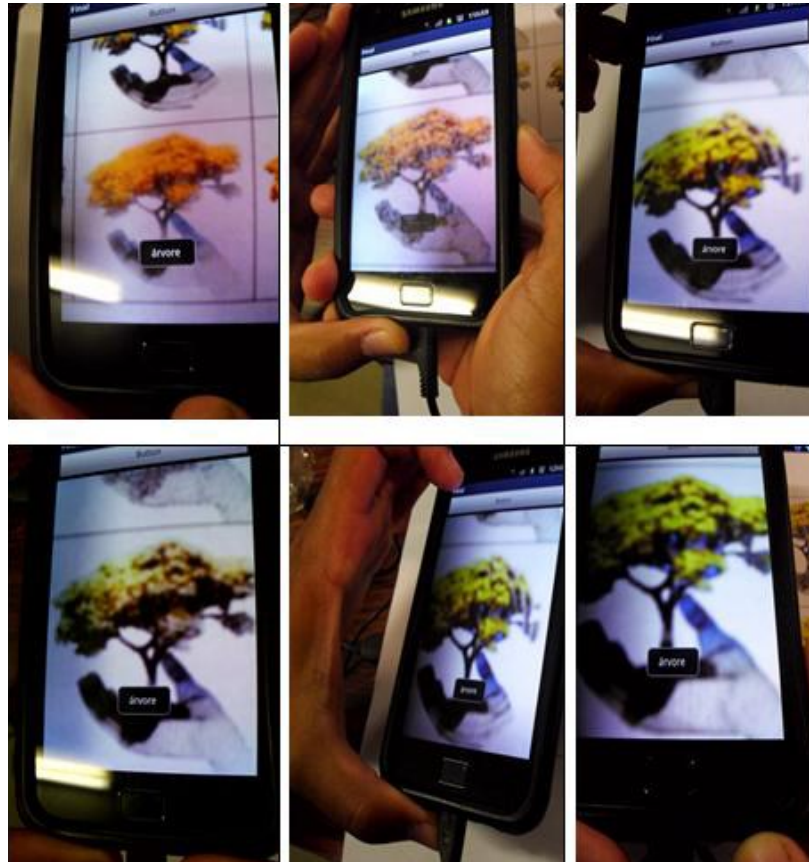
Figura 6. Telas do Aplicativo Imagine 3D



Fonte: (Braga, Cardoso *et al.*, 2012)

Um problema já conhecido da Realidade Aumentada diz respeito à detecção de marcadores naturais, que são imagens no mundo real. O trabalho de (Silva, Souza *et al.*, 2012) utiliza Redes Neurais Artificiais para registro e reconhecimento desses marcadores para aplicações da RA. Além disso, foi desenvolvida uma aplicação de estudo de caso utilizando RA móvel para demonstrar a utilização de um algoritmo de redes neurais para detecção de marcadores naturais, considerando também a oclusão parcial e a presença de ruídos nos marcadores. Foram realizados diversos testes com marcadores naturais apresentando alguns tipos de ruídos e oclusão parcial dos marcadores, conforme mostra a Figura 7, utilizando uma imagem do mundo real.

Figura 7. Reconhecimento de marcadores naturais para RA Móvel

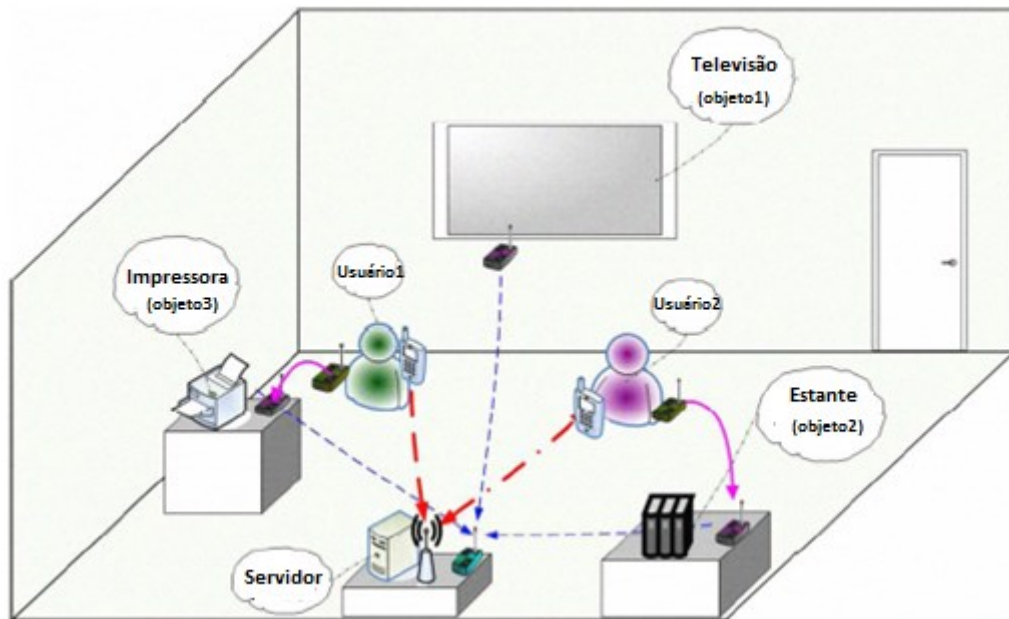


Fonte: (Silva, Souza *et al.*, 2012)

Outro exemplo de aplicação nesta área é o de (Xing, Alpcan *et al.*, 2009) que apresenta um sistema que combina serviços de celulares, computação ubíqua e conceitos de Realidade Aumentada a fim de trazer enriquecer o ambiente com informações, que atualmente é limitado a telas de computador, para o mundo físico.

Nesta pesquisa é apresentada uma arquitetura que combina as tecnologias existentes para criar um ambiente de aumentado com base em serviços Web sem fio, conforme ilustrado na Figura 8, no qual cada usuário carrega um dispositivo móvel e visualiza objetos aumentados no ambiente conforme o perfil do usuário.

Figura 8. Representação da Proposta do Ambiente Aumentado



Fonte: (Xing, Alpcan *et al.*, 2009)

Este sistema foi construído com tecnologias existentes e têm aplicações potenciais, por exemplo, para cuidados de idosos, educação e comércio.

2.2.5 Tecnologias para RA Móvel

Esta seção apresenta softwares de Realidade Aumentada (RA) em dispositivos móveis, com o objetivo de analisar suas potencialidades, aplicações e contribuições.

Atualmente, há uma infinidade de aplicações e trabalhos científicos relacionados com interações e metodologias para ambientes de Realidade Aumentada (Zhou, Duh *et al.*, 2008). Essas tecnologias permitem o desenvolvimento rápido de uma vasta gama de aplicações de RA Móvel. Os critérios levados em consideração para análise estão relacionados à usabilidade do mesmo, à tecnologia utilizada para implementação, às tecnologias de suporte necessárias e bibliotecas utilizadas. Foram definidos como critérios:

- Tecnologia aplicada;

- Ambiente de execução;
- Tecnologia de suporte utilizada;

O projeto *AndAR - Android Augmented Reality* (2011) consiste em uma biblioteca de software escrito em Java que implementa Realidade Aumentada com o *ARToolkit* para a plataforma *Android*. Este projeto usa marcadores de RA para projetar objetos virtuais na imagem capturada do mundo real.

Esta tecnologia suporta a portabilidade do *ARToolkit* para o Adobe Flash®, trazendo assim a Realidade Aumentada para navegadores e dispositivos com suporte a Flash®. Esta tecnologia é conhecida como *FLARToolkit*, onde todos os princípios de funcionamento do *ARToolkit* foram preservados.

Outra biblioteca que usa marcadores de Realidade Aumentada é *NyARTollkit*, também desenvolvido utilizando a linguagem de programação Java, mas também com versões em C # e *Android*. É uma versão estendida do código *ARToolkit* à uma visão que adiciona recursos, mas quebra a compatibilidade devido a uma nova classe baseada em API.

NyARToolkitCS fundamenta-se no *ARToolkit*, tendo sido construído na linguagem C#. É derivado do *Nyartoolkit* para Java. *NyARToolkitCS* é de uso livre para aplicações não comerciais, necessita do .Net Framework instalado onde o aplicativo de RA for executado. Caso seja em computadores, Net Framework 2.0 e .NET *Compact Framework* 3.5 para o uso de dispositivos móveis.

O QCAR SDK (2013), que possui comercialmente o nome de *Vuforia*, é um framework de RA *Android*, *iOS* e *Unity 3D* desenvolvido pela empresa americana de telecomunicações *Qualcomm*, representa uma solução avançada e com ótimos recursos para o desenvolvimento de aplicações destinadas a Realidade Aumentada para dispositivos móveis. O QCAR não se limita a reconhecer marcadores bidimensionais, ele implementa uma classe mais geral (chamada *Trackable*) de elementos identificáveis e rastreáveis na imagem obtida pela câmera do dispositivo, permitindo o reconhecimento de multimarcoadores e detecção de objetos

tridimensionais. Além disso, também permite o uso de recursos de computação em nuvem.

Outro *framework* que merece atenção é o *ElipseAR*, que diferente dos marcadores *ARToolKit* padrão, permite grande vantagem no rastreamento e reconhecimento de imagens coloridas.

Alguns destes *frameworks*, foram inicialmente concebido para ambientes desktop, como o *ARToolKit*, mas já possuem implementações para plataformas móveis. Entretanto, existem opções que auxiliam o desenvolvimento de aplicações de RA em dispositivos móveis, com recursos dos smartphones: informações de geolocalização, modelos tridimensionais, com imagens sobrepostas ou animações para a visão da câmera. Isto permite ao usuário perceber uma experiência nova e revolucionária da RA em substituição aos marcadores tradicionais usados nas implementações usuais, normalmente para desktops.

Para a produção de sistemas de RA Móvel é possível utilizar também *frameworks* mais voltados para o desenvolvimento tradicional. Como exemplo, será apresentado o *PhoneGap*, uma biblioteca multiplataforma que facilita o processo de desenvolvimento entre os vários dispositivos.

A Tabela 1 contém um comparativo entre as diferentes tecnologias mais usadas de Realidade Aumentada, mencionadas anteriormente (Jr, Oliveira *et al.*, 2013).

Tabela 1. Tabela de comparação de algumas das tecnologias de Realidade Aumentada.

Tecnologia	Ambiente de execução	Tecnologia de suporte
ARToolKit	Symbian OS	OpenGL
AndAR	Android	Java
NyARToolkit	Java	OpenGL
NyARToolkitCS	Windows	DirectX
ElipseAR	Android	Java

FlarToolKit	Flash	ActioScript
Vufória	iOS, Android e Unity 3D	OpenGL
PhoneGap	Multiplataforma (iOS, Android, Windows Phone, Symbian OS, Black Berry, hpWeb OS)	HTML5, Javascript e CSS

Outras ferramentas existentes são Unifeye Design (Technologies, 2014), D'Fusion SDK (Immersion, 2014), ARToolKit NFT (Artoolworks, 2014) e IN2AR (In2ar, 2014). Nesta pesquisa foi desenvolvida uma aplicação que utiliza a tecnologia AndAR.

2.3 Considerações finais

Este capítulo visa um melhor entendimento da utilização da Realidade Aumentada Móvel para navegação em ambientes internos e suas aplicações.

Pôde-se observar que a Realidade Aumentada Móvel está cada vez mais presente na vida das pessoas e é uma tecnologia capaz de contribuir no desenvolvimento de diversas aplicações em várias áreas, tais como, navegação *indoor*, geolocalização, jogos, aprendizagem móvel, Educação, Medicina, entre outros. Pesquisadores estão trabalhando para criar aplicações de Realidade Aumentada Móvel de fácil utilização, com suporte a toque e gestos, com precisão. A qualidade de dispositivos móveis evolui rapidamente associada à redução de tamanho e peso dos mesmos. Assim, como as novas tecnologias móveis estão cada vez mais inseridas no mercado, o uso de RA Móvel não será, no futuro, uma exceção. No próximo Capítulo serão apresentados os trabalhos relacionados a esta pesquisa.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

O presente Capítulo propõe-se a apresentar o estado da arte referente ao uso de navegação *indoor*, baseada na Realidade Aumentada Móvel para usuários cadeirantes. Os trabalhos encontrados, em sua maioria, não funcionam perfeitamente tanto em ambientes internos quanto ao ar livre. Outra questão importante e motivacional é a escassez de estudos que utilizam a tecnologia de RA móvel e a tecnologia de *beacons* para o desenvolvimento de aplicações.

3.1 Trabalhos Relacionados a RA Móvel para Navegação *Indoor*

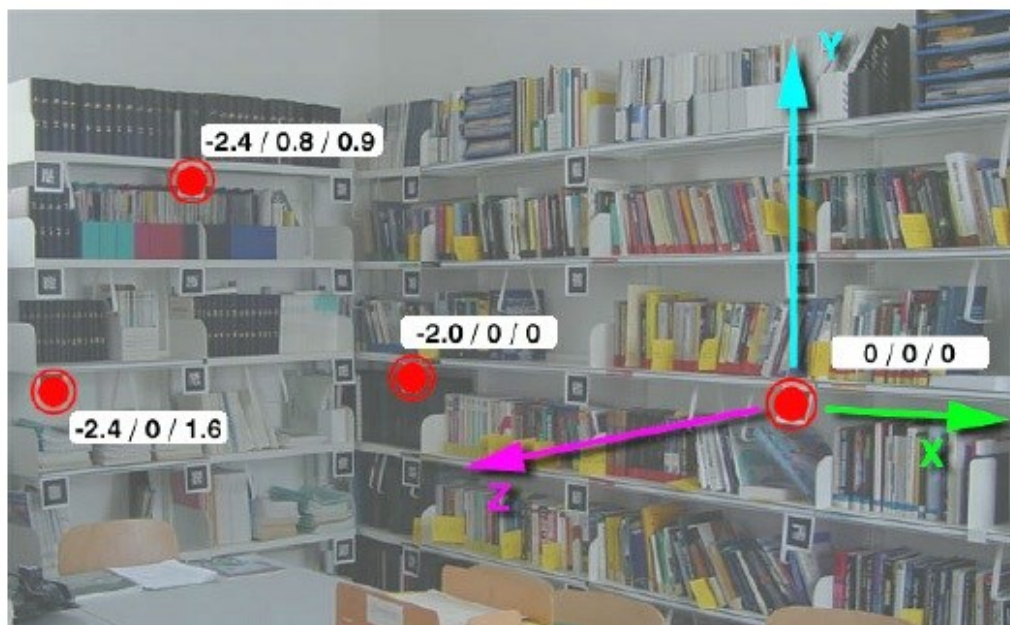
Baseado na pesquisa bibliográfica feita foi possível identificar diferentes abordagens do uso de RA Móvel, como apresentado a seguir.

3.1.1 Visualização de Informações *Indoor*

A Visualização de Informação (VI) pode ser definida como o uso de representações visuais interativas, dados abstratos para amplificar a cognição. As ferramentas e os métodos de VI ajudam-nos a acelerar a nossa compreensão e ação em um mundo de volumes crescentes de informação (Schreder, Windhager *et al.*, 2016).

Em (Reitmayr e Schmalstieg, 2003), os autores investigam a construção de aplicações baseadas em localização em ambientes internos para aplicações móveis de RA, confirmando que a RA é uma interface natural para visualizar informações no mundo real tais como a posição e localização de objetos. Neste trabalho são desenvolvidas duas aplicações para localização de objetos em ambientes internos, a primeira aplicação é um guia de navegação dentro de um prédio e a segunda aplicação é uma pesquisa de livros em prateleiras de uma biblioteca utilizando marcadores, conforme mostrado na Figura 9.

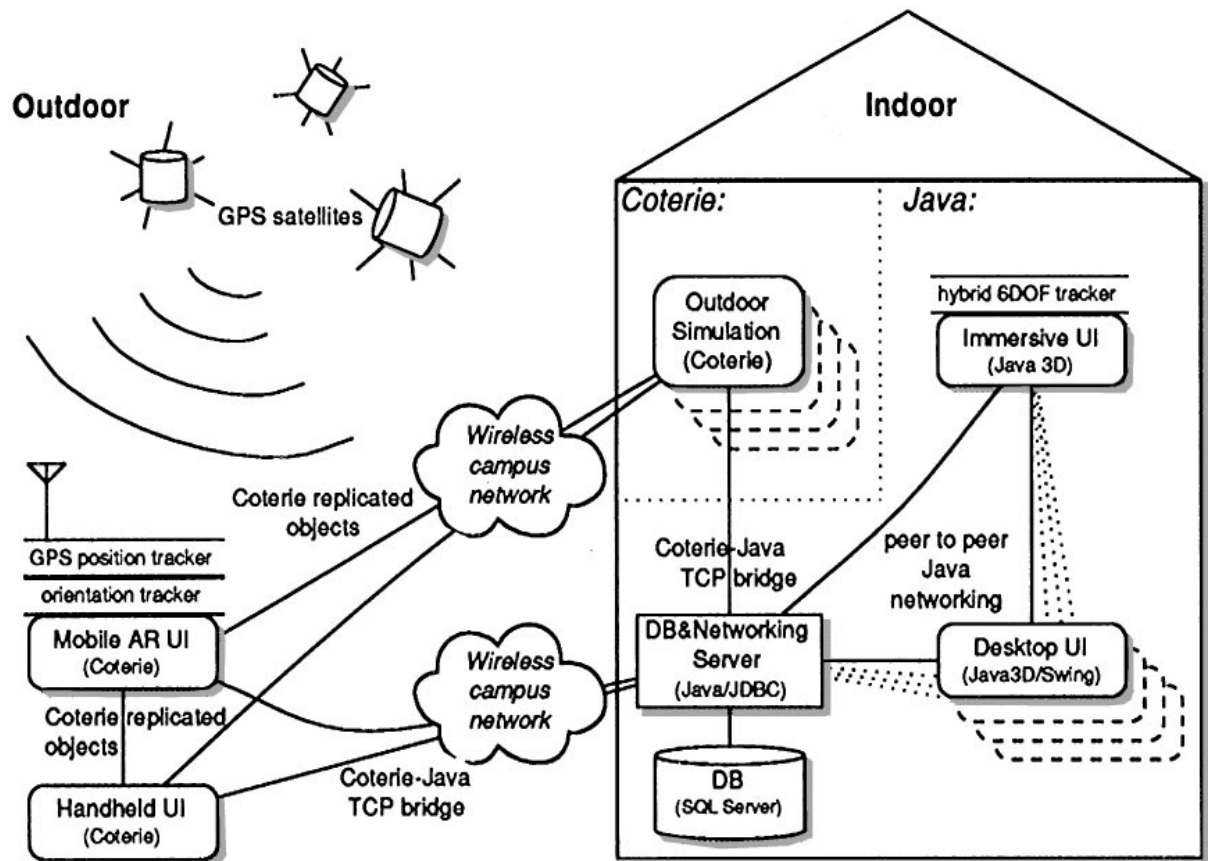
Figura 9. Marcadores em uma aplicação para localização de livros



Fonte: (Reitmayr e Schmalstieg, 2003)

Um outro trabalhos na área de visualização de informações é a pesquisa de (Llerer, Feiner *et al.*, 1999) que descreve e apresenta a arquitetura de um sistema, ilustrado na Figura 10, que utiliza a RA Móvel com diferentes interfaces com o usuário que permite acessar e gerenciar informações externas e internas do mundo real, que são espacialmente registradas.

Figura 10. Arquitetura do Sistema MARS para visualizar informações Indoor



Fonte: (Llerer, Feiner *et al.*, 1999)

3.1.2 Navegação em Ambientes Internos

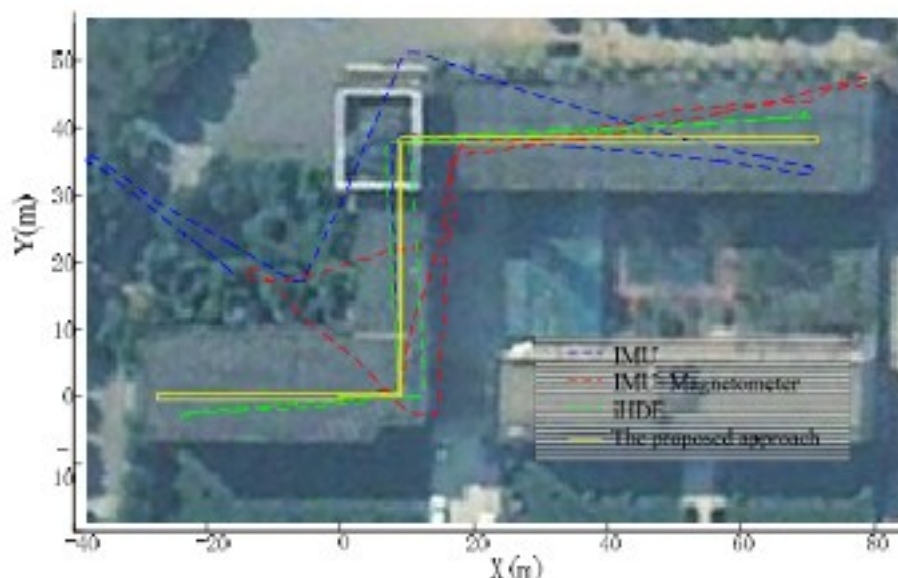
O sinal de GPS não é suficientemente forte para penetrar a maioria dos edifícios, enquanto o posicionamento celular não é capaz de fornecer uma precisão satisfatória interior (Hansen e Thomsen, 2007).

A técnica mais utilizada para fornecer posicionamento preciso interior é chamado de local *fingerprinting*. A técnica funciona em duas fases: Na fase off-line, informações da intensidade do sinal são (manualmente) coletadas em um número de locais pré-definidos, ao longo da área a ser coberta por o sistema de posicionamento. A intensidade do sinal de informação é salva em um banco de dados (também chamado de mapa de rádio) como pares (localização, medição) é o local onde (x, y, z) coordenadas onde as medições são tomadas (Hansen e Thomsen, 2007).

A técnica pode ser aplicada em conjunto com qualquer algoritmo de posicionamento e permite que o espaço de busca possa ser reduzido para uma pequena região geográfica para que o sistema de posicionamento possa confiantemente fornecer estimativas da posição dentro do ambiente (Hansen e Thomsen, 2007).

Outro trabalho relacionado a navegação em ambientes internos utiliza a técnica de contagem de passos para projetar uma caminhada completa. Os estados dos passos são definidos para classificar cada passo e modelos diferentes são treinados para discriminação de um comportamento. Segundo os autores, esta abordagem explora mais informações e fornecem resultados mais precisos que outros métodos por eles testados. A Figura 11 mostra resultados experimentais em um edifício que demonstram eficácia da abordagem, com precisão superior a outros métodos: método IMU (*Inertial Measurement Unit*) (Surakul e Smachat, 2016), método IMU+ Magnetômetro e o método iHDE (*Improved Heuristic Drift Elimination*) (Li, Song *et al.*, 2016).

Figura 11. Resultados de navegação de pedestres por diferentes métodos



Fonte: (Li, Song *et al.*, 2016)

O IMU é um dispositivo que pode medir a velocidade, direção e força da gravidade que combina as funcionalidades de acelerômetro, giroscópio e

magnetômetro em um único dispositivo. Devido a sua capacidade de medir em três eixos, as IMUs são tratadas como aviões não tripulados. O principal problema do uso do IMU é a imprecisão na navegação, para isso foi proposto o HDE (*Heuristic Drift Elimination*) que minimiza o erro de direção ao navegar em edifícios. Em (Jiménez, Seco *et al.*, 2011) foi proposto o HDE melhorado que inclui um bloco de análise de movimento para detectar linhas retas usado em edifícios complexos.

Bluetooth de baixa energia (BLE) é uma tecnologia de rede sem fio projetado e destinado a novas aplicações na saúde, *fitness*, segurança, entre outras. A eficiência energética do BLE com funcionalidade de baixo consumo de energia permite que sejam utilizados para dispositivos que funcionam por longos períodos em fontes de energia, tais como dispositivos chamados *beacons* (Ble, 2017).

Em uma aplicação de navegação indoor também pode ser utilizada a tecnologia de *Beacon*, que é uma subclasse de dispositivos BLE (*Bluetooth Low Energy*), que transmitem a sua localização a dispositivos eletrônicos (portáteis) nas proximidades (Sharhan e Zickau, 2015). Estes dispositivos permitem localizar um usuário utilizando dispositivos móveis. O *beacon* transmite um identificador ao dispositivo móvel e permite que o mesmo calcule a distância entre eles, descobrindo assim, a localização do usuário.

3.2 Navegação Indoor para Pessoas com Deficiência Física

Estudos relacionados à navegação *indoor* para pessoas deficientes que utilizam RA móvel são ainda escassos. Além disso, é possível analisar que, dentre os estudos descritos, diferentes tecnologias para desenvolvimento de aplicações são utilizadas.

Uma das tecnologias que pode ser usada para auxiliar os deficientes físicos em suas dificuldades é a Realidade Virtual (Rovadosky, Pavan *et al.*). O trabalho de (Alm, Arnott *et al.*, 1998) apresenta um estudo sobre a utilização da RV para o desenvolvimento de sistemas para pessoas com deficiências, que oferece uma série de possibilidades de aplicações, tais como, a navegação por um ambiente virtual que permite realizar movimentos físicos para pessoas que enfrentam problemas de

mobilidade, o que proporciona a pessoas com pouca habilidade motora, oportunidade de explorar espaços virtuais com a mesma liberdade de alguém sem deficiência física.

Algumas pessoas com deficiência que possuem dificuldades de mobilidade não podem acessar o *joystick* ou dispositivo móvel que esteja equipado com cadeiras de rodas. Neste sentido, a utilização da tecnologia assistiva de voz é utilizada para auxiliar essas pessoas a executar suas atividades diárias.

Existem trabalhos que utilizam o recurso de comandos de voz para desenvolvimento de aplicações para cadeirantes (N. e M., 2000). As pessoas com deficiência física, especialmente os cadeirantes, desfrutam dos benefícios de softwares que fornecem funcionalidades com reconhecimento da fala.

O reconhecimento de voz é mais utilizado para usuários com deficiência visual. No projeto *Drishti* de (Ran, Helal *et al.*, 2004), comandos de voz são utilizados para guiar os cegos e ajudá-los a navegar em ambientes internos e externos. O algoritmo de navegação utilizado neste trabalho possui a limitação cujo cálculo de localização foi realizado para duas dimensões usando a altura média de uma pessoa, o que resulta em maior erro se o usuário estiver sentado ou deitado. Outra questão é que a cobertura da navegação interior que ficou limitada.

Além disso, este projeto utiliza uma série de dispositivos sem a presença de *smartphones*, conforme ilustrado nas Figuras 12 (a) e (b).

Figura 12. Apresentação da Navegação indoor e outdoor do projeto Drishti

(a) Navegação *Outdoor*(b) Navegação *Indoor*

Fonte: (Ran, Helal *et al.*, 2004)

Os Sistemas de Posicionamento Global (GPS) para navegação outdoor têm ganhado popularidade no mercado, o que implica em uma redução de custo, tamanho, e novos recursos. Entretanto, eles não conseguem fornecer uma interface para usuários cegos ou cadeirantes (Sanchez, Aguayo *et al.*, 2007). Ao contrário da navegação de veículos, os pedestres formam um grupo heterogêneo com diferentes níveis de capacidades físicas com variedades de condições, preferências e necessidades pessoais (Chakraborty e Hashimoto, 2010).

Em (Sanchez, Aguayo *et al.*, 2007), os autores desenvolveram uma ferramenta para auxiliar usuários cegos em seu deslocamento externo pela cidade. A solução não utiliza telefones celulares, mas em um software baseado em som incorporado em um PC de bolso, que com o auxílio de um GPS satélite fornece informações de orientação durante diversos pontos de interesse da cidade.

Como pesquisa de navegação interior, pode-se citar o sistema desenvolvido por (Mirza, Tehseen *et al.*, 2012) que ajuda as pessoas a navegar sua própria casa ou em qualquer ambiente interior. Usando este sistema não só eles podem chegar a qualquer lugar desejado na sua casa, mas também poderiam chegar aos lugares mais usados dentro de uma sala, como sofá, televisão, geladeira ou qualquer lugar comumente usado, através de comandos de voz.

Este sistema proposto pode ser de grande utilidade para cadeirantes tornando suas vidas mais fáceis, sem qualquer ajuda externa (Mirza, Tehseen *et al.*, 2012).

O trabalho de (Hub, 2008) apresenta um sistema de navegação indoor e outdoor para pessoas cegas ou surdo-cegas. Este projeto utilizou um sensor de inércia e um computador portátil. Para a navegação indoor, o projeto utilizou transmissores disponíveis nos cantos das salas e para a navegação outdoor utilizou-se da tecnologia GPS. Um mapa é apresentado na tela de toque do computador, e tocando-o, a posição atual do usuário, seja em ambientes fechados ou ao ar livre, pode ser acessado, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13. Mapa para Navegação indoor e outdoor do projeto TANIA



Fonte: (Hub, 2008)

Este sistema aumenta significativamente a orientação e mobilidade para cegos, surdos-cegos e visualmente prejudicada, em que a informação é apresentada por voz ou em Braille. A Figura 14 mostra uma pessoa cega utilizando o sistema.

Figura 14. Usuário com deficiência visual utilizando a navegação outdoor do projeto TANIA



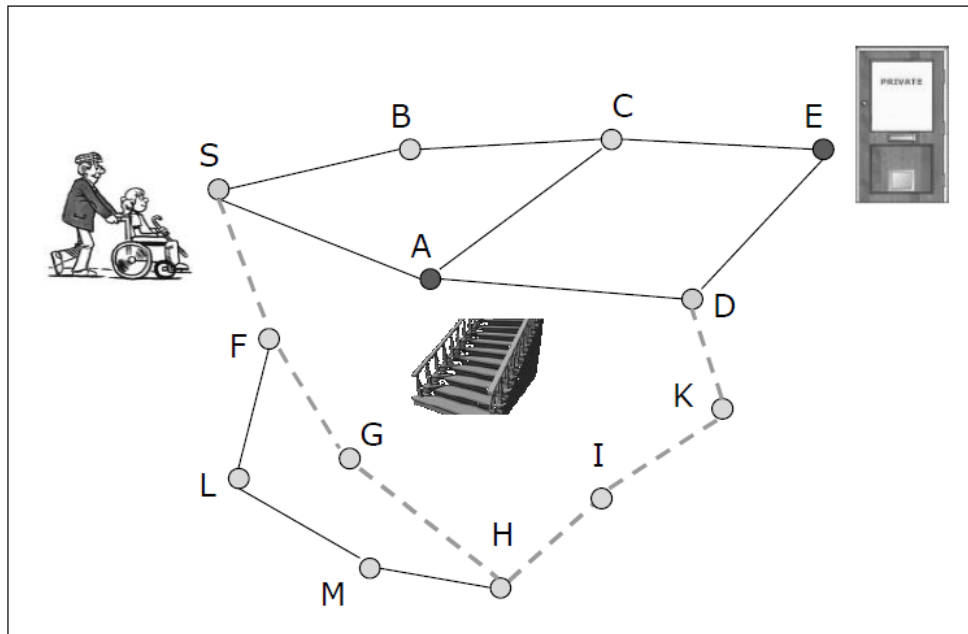
Fonte: (Hub, 2008)

Um trabalho com abordagem diferente foi apresentado em (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2005) com a implementação de um sistema de navegação genérico para diversos tipos de usuários. Os autores propuseram como atividades futuras avaliarem a sua eficácia e desempenho através de testes no mundo real.

Em outro trabalho, os mesmos autores, (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2006) apresentam um *framework* para navegação *indoor* enriquecido através de perfis de usuários, como por exemplo, navegação para pessoas cegas. Ainda neste trabalho foi apresentada uma necessidade do cadeirante através de uma situação problema, ilustrada através da Figura 15, a saber: uma pessoa que usa uma cadeira de rodas, deseja chegar ao destino D a partir de sua posição atual S, dentro de um grande e complexo edifício. O gráfico na figura é uma representação lógica (não geográfica) da topologia do edifício, onde arestas e vértices representam corredores e passagens (por exemplo, escadas, elevadores, portas). Além disso, os comprimentos das extremidades representam as respectivas distâncias. Se o usuário seguir o caminho {S, A, D} que é o mais curto, ele terá que, eventualmente, voltar para S, uma vez que existe uma escada em A. Se ele optar por seguir um dos caminhos que começam com {S, B, C}, ele vai, novamente, chegar a um beco sem saída, uma vez que também há uma porta E, que leva a uma área de acesso restrito. Por isso, ele tem que voltar para S novamente e escolher um caminho para a direção de F. Para resumir, em um

cenário de pior caso, o usuário pode seguir um caminho como {S, A, S, B, C, E, C, B, S} antes que ele encontra um caminho que pode levá-lo ao seu desejado destino, D.

Figura 15. Navegação *Indoor* para deficientes físicos



Fonte: (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2006)

3.3 Limitações dos Sistemas de Navegação

Existem muitos sistemas de navegação para pessoas com deficiência, mas poucos podem fornecer uma dinâmica de interações e adaptabilidade às mudanças. Nenhum desses sistemas funciona sem que haja algum tipo de erro tanto em ambientes internos e ao ar livre (Ran, Helal *et al.*, 2004). Por exemplo, um dos erros muito comum é que o sinal de GPS utilizado para navegação externa nem sempre funciona em ambientes internos. Esta lacuna é significativa porque os sinais de GPS podem ser fracos ou imprecisos e as resoluções dos mapas podem ser insuficientes para uma navegação precisa (Hub, 2008).

Uma das limitações dos sistemas de navegação é que os algoritmos de cálculo de menor caminho não levam em consideração as categorias de usuários, tais como, cadeirantes (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2006). Além disso, existem poucas pesquisas que realizam avaliação dos sistemas desenvolvidos com cadeirantes reais (Tsetsos, Anagnostopoulos *et al.*, 2006). E não foram encontrados na literatura

sistemas que avaliam a utilização da Realidade Aumentada Móvel para navegação *indoor*, e a visualização de informações em tempo real sobre acessibilidade para os cadeirantes.

A maioria dos sistemas não permite incorporar novos dados de navegação, sendo limitados apenas a informações recebidas em locais onde estão presentes os sinais de GPS. Além disso, estes sistemas não incorporam dados de localização precisos obtidos a partir da fonte de *feedback* sobre o ambiente atual. Este fato prejudica em particular os usuários com cadeirantes porque dificulta a acessibilidade de forma mais rápida (Hub, 2008).

A falta de dados para apoiar a navegação de pedestres também impõe um desafio mais difícil de projetar o sistema de navegação generalizada para usuários, em especial, para pessoas idosas e portadores de cadeiras de rodas. Os dados de acesso, tais como, rebaixamento das calçadas e rampas para deficientes físicos não estão presentes na maioria dos mapas que são utilizados para a navegação (Chakraborty e Hashimoto, 2010).

A maioria das pesquisas é motivada para desenvolvimento de um sistema personalizado ao invés de um sistema genérico para diversos usuários e suas diversas necessidades, gerando múltiplas opções. As pessoas possuem necessidades diferentes em momentos diferentes, por exemplo, o caminho necessário para uma mãe, indo para o escritório é bastante diferente do caminho enquanto realizar um passeio com a criança (Chakraborty e Hashimoto, 2010).

Os sistemas encontrados não apresentam em tempo real informações para os cadeirantes a medida que eles se locomovem. Existem algumas técnicas atuais para navegação *indoor* que podem ser usadas, tais como a contagem de passos, mas isso não se aplica no caso de uma pessoa que utiliza cadeira de rodas, pois não existe contagem de passos.

Baseado no trabalho de revisão desta tese, a pesquisa que mais se aproxima deste trabalho é o de (Postolache, Silva Girao *et al.*, 2011), onde foi desenvolvido um

sistema de localização para pessoas que utilizam cadeiras de rodas, baseado na tecnologia GPS (para localização ao ar livre) e na tecnologia RFID (para a localização interna) que roda em um sistema operacional móvel, como *Android* ou *Windows Phone*. No entanto, o objetivo deste trabalho não é navegação *indoor*, e sim extrair informações precisas sobre parâmetros fisiológicos fornecidos pelo canal de medição físico e também para estimar parâmetros adicionais associados com canais de medição virtuais embutidos na plataforma de computação acoplado em uma cadeira de rodas do deficiente físico. Além disso, este trabalho não apresenta rotas de navegação e não utiliza a Realidade Aumentada.

A seguir, são apresentados trabalhos relacionados a esta pesquisa e um estudo comparativo entre eles.

3.3 Estudo Comparativo dos Trabalhos Relacionados

A Tabela 2 apresenta uma pesquisa no qual foram encontrados estudos publicados na literatura ao longo dos últimos dezoito anos, lidando com a navegação interior e exterior para indivíduos com deficiências físicas, descrevendo as várias tecnologias usadas e as principais características que cada sistema incorpora. Porém, não foram encontrados estudos que tratam as principais características que são consideradas fundamentais para a generalização bem sucedida de sistemas de navegação para usuários de cadeira de rodas (Kouroupetroglou, 2013; Cankaya, Koyun *et al.*, 2015): navegação interior; visualização de informação (representação visual interativa de dados para reforçar a cognição humana) endossado por meio de técnicas de Realidade Aumentada; ferramentas de navegação específicas (tais como aqueles que consideram rebaixados e rampas) e comandos de voz.

Os trabalhos da Tabela 2 foram classificados por área (primeira coluna a esquerda) e por tecnologia (segunda coluna a esquerda). Por exemplo, para área de Realidade Aumentada Móvel, existem trabalhos utilizando as seguintes tecnologias: marcadores fiduciais, marcadores naturais, banco de dados (DB), RFID e GPS.

Além disso, a Tabela 2 mostra um estudo comparativo entre os trabalhos relacionados e suas tecnologias utilizadas. Não foram encontrados trabalhos que abrangesse todas as características escolhidas: navegação outdoor, navegação indoor, visualização de informação, suporte ao cadeirante, proposta de frameworks, perfis de usuário, feedback de usuário, reconhecimento de voz e reconhecimento de gestos.

Com a proliferação de tecnologias de rede sem fio, os usuários estão interessados, principalmente, em serviços avançados que tornam o ambiente altamente inteligente para facilitar significativamente suas atividades. Entretanto, as primeiras tentativas de sistemas desenvolvidos para atender as necessidades especiais de determinadas categorias de usuários, tais como usuários cadeirantes, encontram-se bastante limitadas (Alm, Arnott et al., 1998) (Stefanov, Bien et al., 2004) (Park, Bien et al., 2006) (Deruwe e Wall, 2008) (Postolache, Silva Girao et al., 2011). Dentre as limitações encontram-se a dificuldade de mobilidade, muitas vezes as mãos podem estar ocupadas manipulando a cadeira de rodas, ou até mesmo o usuário não consegue realizar atividades manuais. Além disso, o sistema de navegação deve considerar a altura e o melhor caminho do usuário. Cita-se, como por exemplo, aqueles para a navegação de pessoas cegas ou pessoas que utilizam cadeiras de rodas.

Tais sistemas, contudo, realizam uma avaliação da utilização real por parte dos indivíduos que utilizam cadeiras de rodas e na maioria desses sistemas falta uma abordagem genérica suficiente para atender os requisitos de aplicações e limitações dos cadeirantes no processo de navegação (Tsetsos, Anagnostopoulos et al., 2006) (Kouroupetroglou, 2013). O desenvolvimento de um sistema de navegação interior para cadeirantes é de grande importância. Para tanto, é preciso ser capaz de marcar e identificar os locais que podem ser inacessíveis ou perigosos para essas pessoas, que enfrentam dificuldades de locomoção ou dificuldades de manipulação de objetos.

Tabela 2. Análise dos Sistemas de RA Móvel para indivíduos cadeirantes

TRABALHOS / TECNOLOGIAS			CARACTERÍSTICAS												
			Navegação Outdoor	Navegação Indoor	Visualização da Informação	Suporte ao Cadeirante	Framework	Perfis de Usuário	Pontos de Interesse	Feedback do Usuário	Reconhecimento de Voz	Reconhecimento de Gestos			
Realidade Aumentada Móvel	GPS	MARS (Llerer, Feiner <i>et al.</i> , 1999)	*	*											
		(Marston, Loomis <i>et al.</i> , 2006)	*												
		ISAS (Blum, Bouchard <i>et al.</i> , 2011)	*						*	*					
		(Mulloni, Grubert <i>et al.</i> , 2012)	*	*						*					
	RFID	(Xing, Alpcan <i>et al.</i> , 2009)			*		*								
	WiFi	(Ruta, Scioscia <i>et al.</i> , 2015)		*	*				*						
		(Cankaya, Koyun <i>et al.</i> , 2015)		*	*				*						
		(Dong, Xiao <i>et al.</i> , 2015)		*	*										
	DB	Framy-AR (Chiara, Paolino <i>et al.</i> , 2010)	*						*						
	Marcadores Fiduciais	(Kalkusch, Lidy <i>et al.</i> , 2002)		*					*	*					
		(Newman, Wagner <i>et al.</i> , 2004)		*			*								
		(Rovadosky, Pavan <i>et al.</i> , 2012)		*	*				*						
	Marcadores Naturais	(Ferreira, Santos <i>et al.</i> , 2012)	*	*											
		(Koch, Neges <i>et al.</i> , 2014)		*	*				*						
		(Neges, Koch <i>et al.</i> , 2015)		*	*				*						
	Ontologias	(Onorati, Malizia <i>et al.</i> , 2014)		*	*	*	*								
Beacon	(Takahashi e Kondo, 2015)		*												
Google Glass	(Sinyukov, Ran <i>et al.</i> , 2014)		*	*	*						*	*			
	(Rehman e Cao, 2015)		*	*		*									
Realidade Virtual	(Alm, Arnott <i>et al.</i> , 1998)				*										
	(Marston, Loomis <i>et al.</i> , 2006)	*													
Robótica	Camera	(Park, Bien <i>et al.</i> , 2006)				*						*			
		(Ju, Shin <i>et al.</i> , 2009)	*	*		*						*	*		
		(Lokuge, Madumal <i>et al.</i> , 2014)		*	*	*	*								
	WiFi	(Stefanov, Bien <i>et al.</i> , 2004)				*									
	Mapas	(Cheein, Cruz <i>et al.</i> , 2011)		*	*	*			*						
		(De La Cruz, Bastos <i>et al.</i> , 2010)		*	*	*			*					*	

	EEG	(Rui, Yuanqing et al., 2016)		*		*									
Mapas	GPS	Drishti (Ran, Helal et al., 2004)	*	*											
		(Sanchez, Aguayo et al., 2007)	*		*							*			
		TANIA (Hub, 2008)	*	*											
		(Deruwe e Wall, 2008)	*				*				*				
		LifeMap (Yohan, Talipov et al., 2012)	*								*				
	RFID	(Postolache, Silva Girao et al., 2011)			*	*									
		(De La Cruz, Celeste et al., 2011)		*	*	*					*				
	Beacon	(Sharhan e Zickau, 2015)		*							*				
		(Deepesh, Rath et al., 2016)		*											
	NFC	(Yayan, Akar et al., 2014)		*	*	*									
Ontologias	OntoNav (Tsetsos, Anagnostopoulos et al., 2005)		*					*	*						
	OntoNav (Tsetsos, Anagnostopoulos et al., 2006)		*		*	*	*	*	*						
Computação Pervasiva	RFID	(Postolache, Silva Girao et al., 2011)			*	*									
		(Barberis, Bottino et al., 2014)		*		*	*								
Grafos e Inteligência Artificial	(Newman, Wagner et al., 2004)		*			*									
	(Hansen e Thomsen, 2007)		*												
	(Chakraborty e Hashimoto, 2010)	*			*	*									
UWB sensores	(Mirza, Tehseen et al., 2012)		*		*	*				*					
	(Maghdid, Lami et al., 2016)		*		*	*									

Além disso, a maior parte das pesquisas não apresentam informações relevantes no ambiente para os usuários cadeirantes e não realizam avaliações do feedback dos usuários para descobrir seu perfil do usuário ao utilizar o sistema de navegação. Uma alternativa de tecnologia que pode ser utilizada para mostrar informações ao usuário é a tecnologia de Realidade Aumentada Móvel. Sendo assim, existe uma carência de estudos que objetivem a investigação e a avaliação para o uso da navegação indoor utilizando serviços móveis para usuários portadores de cadeiras de rodas.

3.4 Considerações finais

Baseado no trabalho de investigação bibliográfica, não foram encontradas pesquisas que incorporavam todas as características analisadas: navegação interna, visualização de informações, deficiência física, arquitetura, pontos de interesse, *feedback* do usuário, reconhecimento de voz, Realidade Aumentada móvel, marcadores e *beacons*. Além disso, as pesquisas que envolvem cadeirantes não realizaram avaliação com usuários reais.

A escassez de estudos que utilizem a RA móvel para navegação em ambientes internos e que associam técnicas que identificam as melhores rotas, incapacidades físicas e direcionadas para cadeirantes foi a principal motivação para a realização desta pesquisa. Acredita-se que esta inclusão melhorará a acessibilidade e facilitará a navegação em vários ambientes, tais como grandes centros comerciais, hospitais, universidades e locais de trabalho.

Capítulo 4

Arquitetura

O Capítulo anterior mostrou que as pesquisas envolvendo a navegação *indoor* para pessoas que utilizam cadeiras de rodas vêm apresentando perspectivas promissoras.

Considerando que o uso da Realidade Aumentada para navegação *indoor*, especialmente para cadeirantes, ainda precisa ser melhor explorado e após análise de requisitos dessas aplicações, neste capítulo apresenta uma arquitetura para o desenvolvimento deste tipo de aplicação, baseada em um conjunto de requisitos (funcionais e não-funcionais) detectados durante a elaboração deste trabalho.

4.1 Requisitos da Aplicação

O sistema disponibiliza um navegador, por exemplo, em um hospital ou em um *shopping*, para auxiliar cadeirantes encontrar lugares de interesse, considerando suas limitações.

Esta aplicação utiliza a tecnologia de Realidade Aumentada (RA) e dispositivos móveis. O software consiste em um navegador para um ambiente onde existem, dentre outras coisas, diversos obstáculos e pontos de acesso, tais como a localização de banheiros para cadeirantes. No sistema, o usuário deve visualizar caminhos de interesse com melhor acesso, informações direcionadas para suas limitações físicas, tais como obstáculos, bem como navegar em um ambiente interno através de marcadores de RA ou de outros dispositivos, como por exemplo, os *beacons*. Além disso, a configuração dos ambientes e seus elementos deve ser suportada pelo sistema.

Dentre as limitações de cadeirantes destaca-se que muitas vezes suas mãos estão ocupadas, por exemplo, manipulando a cadeira de rodas. Logo, propõe-se que o dispositivo esteja acoplado na própria cadeira de rodas.

Habilidades motoras e cognitivas definem o perfil do usuário. Isto influencia nos aspectos de desenvolvimento de um sistema de navegação indoor, ou seja, os algoritmos utilizados na navegação e o *design* da interface de usuário e conteúdo. Por exemplo, o sistema de rastreamento não pode contar com o ritmo de uma pessoa. Assim, o posicionamento dos sensores (se houver) tem que considerar a altura do usuário quando o mesmo estiver em movimento. Além disso, apenas um subconjunto das possíveis rotas é adequado, como por exemplo, ter rampas em vez de escadas. Além disso, alguns destinos de especial importância, como banheiros para deficientes, deve ser destacado.

Neste sentido, o software deve contar com instruções faladas e escritas com o objetivo de atender estas limitações. O usuário informa o local de destino de forma falada ou selecionada e o sistema irá indicar o caminho para o usuário.

Assim, os principais requisitos funcionais (RF) são:

- **RF001:** permitir a navegação em um ambiente interno para encontrar pontos de interesse do cadeirante;

- **RF002:** mapear e configurar ambientes diferentes e posicionamento dos locais e marcadores no ambiente;
- **RF003:** encontrar melhor caminho de navegação, retirando escadas e outros obstáculos da rota de navegação;
- **RF004:** permitir a visualização de setas de direção na tela do *smartphone*, de acordo com marcadores fiduciais de RA ou com *beacons* e a posição do ponto de chegada. No caso do uso de marcadores fiduciais, o posicionamento dos mesmos devem considerar as limitações dos utilizadores de cadeiras de rodas (tal como altura da altura dos olhos) e especificação do dispositivo móvel (tal como o alcance do foco da câmara).
- **RF005:** incorporar comandos de voz para facilitar a usabilidade do sistema, em caso do cadeirante apresentar limitações para manipular o *smartphone*;

E os principais requisitos não funcionais (RNF) seriam:

- **RNF001:** utilizar dispositivos móveis;
- **RNF002:** utilizar a tecnologia de Realidade Aumentada (RA);
- **RNF003:** oferecer resposta em tempo real;
- **RNF004:** utilizar dispositivos de localização, como *beacons*.

Frente às considerações apresentadas anteriormente, este trabalho propõe uma arquitetura de um sistema que suporte a navegação *indoor*, baseado na Realidade Aumentada Móvel para indivíduos cadeirantes, especialmente, os que possuem total controle dos membros superiores, ou seja, usuários com perfil de paraplégicos. A aplicação utiliza o algoritmo de *Dijkstra*, modificado a identificar o melhor caminho, considerando a inclusão de obstáculos. Adicionalmente, esta arquitetura deve ser capaz de gravar mapas dos edifícios ao lado de informações de acessibilidade. Esta estratégia permite também gravar a localização de zonas especiais (tais como quartos, banheiros, etc.). Por meio de voz ou comandos gravando em uma interface de *smartphone*, o usuário pode solicitar um local específico. Por sua vez, o sistema proporciona uma rota otimizada, tendo em conta as limitações físicas possível do utilizador (um caminho sem rampas e outros obstáculos, por exemplo). Para a versão

da aplicação que utiliza *beacons*, deve ser possível armazenar a localização dos *beacons* posicionados em lugares que possibilitam o alcance completo do usuário dentro do ambiente interno. Para a versão da aplicação que utiliza marcadores fiduciais deve ser possível armazenar a localização desses marcadores posicionados em pontos de interesse. Além disso, quando se desloca ao longo da rota proposta, o usuário será capaz de detectar marcadores fiduciais. O posicionamento da câmara do aparelho em frente destes marcadores irá permitir a visualização de setas direcionais em um ambiente de RA, facilitando a navegação contínua ao longo do caminho correto e para o marcador seguinte, até que a posição desejada seja atingida.

Para apoiar a navegação interior, marcadores fiduciais de RA são empregados para apresentar setas de direção ou no caso do uso de *beacons*, o caminho é apresentado em um mapa de navegação. A configuração de locais de interesse (tais como banheiros e saídas de emergência) e o reposicionamento de marcadores fiduciais também devem ser permitidos. Isto é, também é importante levar em consideração o motor e habilidades cognitivas de possíveis usuários (Mooser, Lu *et al.*, 2007). Em outras palavras, o algoritmo de navegação deve considerar as necessidades e capacidades de cada usuário.

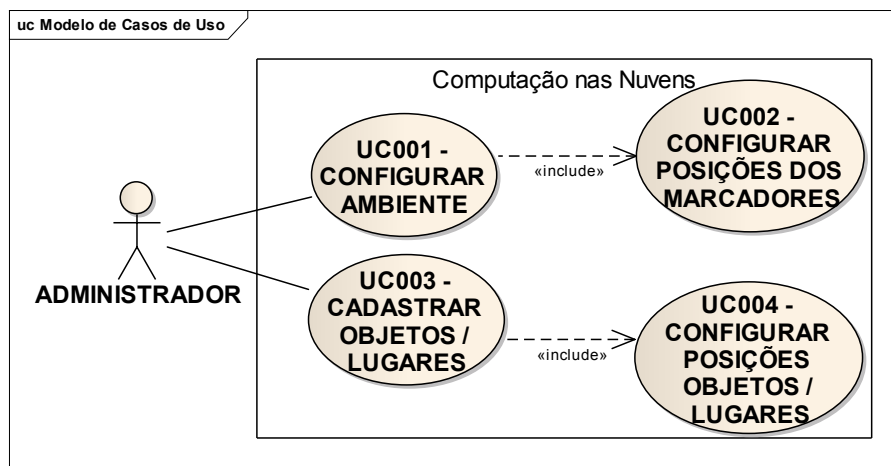
De acordo com os requisitos identificados, foi desenvolvido um projeto chamado m-IndoorAR que possui um módulo Web e um módulo para dispositivos móveis.

O acesso ao projeto via Web visa realizar todas as configurações de registro de lugares dentro de um ambiente e armazenar essas informações no banco de dados que podem estar na Nuvem (Malathi, 2011).

Este projeto possui as seguintes características: configurar ambientes que contemplam a definição das posições dos marcadores dentro do ambiente, e registrar os lugares e objetos que pertencem ao ambiente a ser configurado, bem como a posição destes lugares e objetos dentro do ambiente. O usuário administrador deve configurar o ambiente, considerando-o como uma matriz bi-dimensional. Essas funcionalidades do módulo Web são utilizadas pelo administrador do sistema e pelo

usuário comum, e podem ser vistas no diagrama de Casos de Uso (Medeiros, 2004) mostrado na Figura 16.

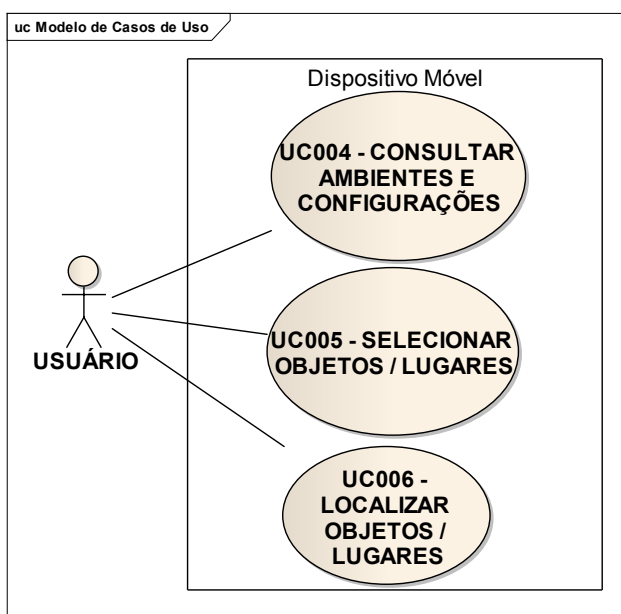
Figura 16. Diagrama de Casos de uso do Projeto Módulo Web



O acesso ao projeto via dispositivos móveis possui os módulos de navegação *indoor* e visualização da informação, para indivíduos cadeirantes, utilizando a tecnologia de Realidade Aumentada Móvel.

As funcionalidades do projeto m-IndoorAR do módulo para dispositivos móveis são mostradas no diagrama de Casos de Uso da Figura 17.

Figura 17. Diagrama de Casos de uso do Projeto Módulo Dispositivos Móveis



Para consultar as informações de configuração dos ambientes, o dispositivo móvel busca as informações dos objetos e dos lugares que estão armazenadas na

Nuvem pelo projeto via Web. O usuário, então, seleciona o ambiente e o sistema exibe todos os lugares configurados para o mesmo. Em seguida, o usuário seleciona o lugar que ele quer encontrar e visualizar as informações. Após a seleção, o usuário visualiza no dispositivo móvel a direção da localização do ponto de interesse selecionado através de setas mostradas sobre os marcadores posicionados no ambiente.

4.2 Arquitetura do Sistema

Esta seção apresenta detalhes da arquitetura do sistema proposta neste trabalho. Quando um sistema de navegação e localização é projetado para cadeirantes, uma análise das suas necessidades, deve ser levada em consideração dependendo do perfil e tipo de deficiência de cada usuário.

Para conexão de vários módulos de aquisição, classificação e interface gráfica com o usuário (GUI) (isto é, Realidade Aumentada, Visão Computacional, etc.) um modelo de integração de interfaces computacionais faz-se necessário. Para isso, elaborou-se uma arquitetura que permite a comunicação de sistemas de navegação indoor e interfaces com usuário de uma forma mais viável.

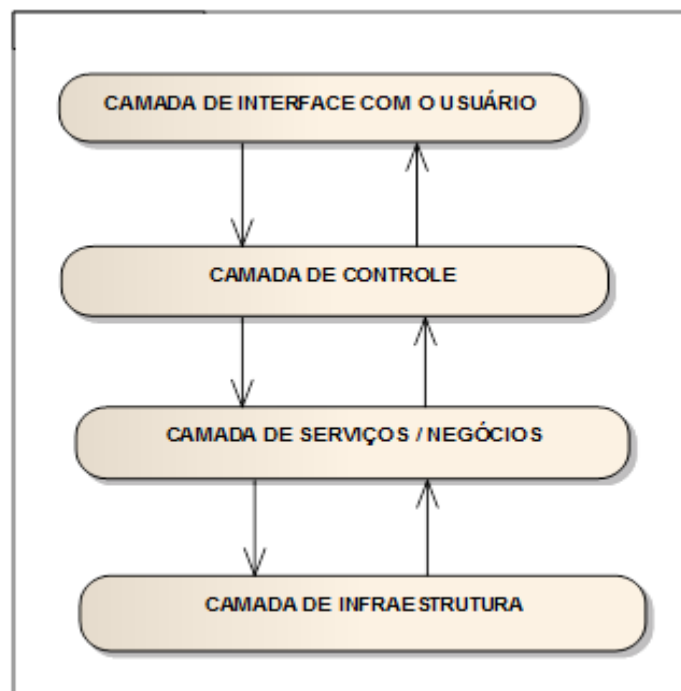
A arquitetura (Figura 18) é dividida em camadas com a finalidade de separar os processos de distribuição de dados, orientação a eventos e camada de interface hardware/gráfica.

A arquitetura possui 4 camadas, conforme ilustrada nas Figuras 18 e 19, a saber:

- camada de interface com o usuário: responsável por criar eventos específicos por cada cliente, dependendo do tipo de cadeirante.
- camada de controle: responsável por aceitar ou rejeitar os eventos que chegam do módulo de interface com o usuário.

- camada de serviços ou negócios: camada que contém componentes de negócio e serviços de localização específicos para cada tipo de perfil de usuário.
- camada de infraestrutura: camada responsável pela comunicação via rede e comunicação com base de dados. Camada de conexão de cliente(s) / servidor, envio e recebimento de pacotes TCP/IP via sockets.

Figura 18. Proposta da Arquitetura de Integração



A arquitetura apresenta a comunicação do tipo cliente/servidor. O servidor fornece uma função ou serviço a um ou vários clientes, que, por sua vez, ficam ouvindo a rede aguardando eventos para os mesmos. Cada módulo ou interface é um cliente independente dos demais, permitindo sua substituição, remoção ou adição sem afetar os demais. Cada cliente representa as interfaces com os diferentes tipos de deficientes físicos.

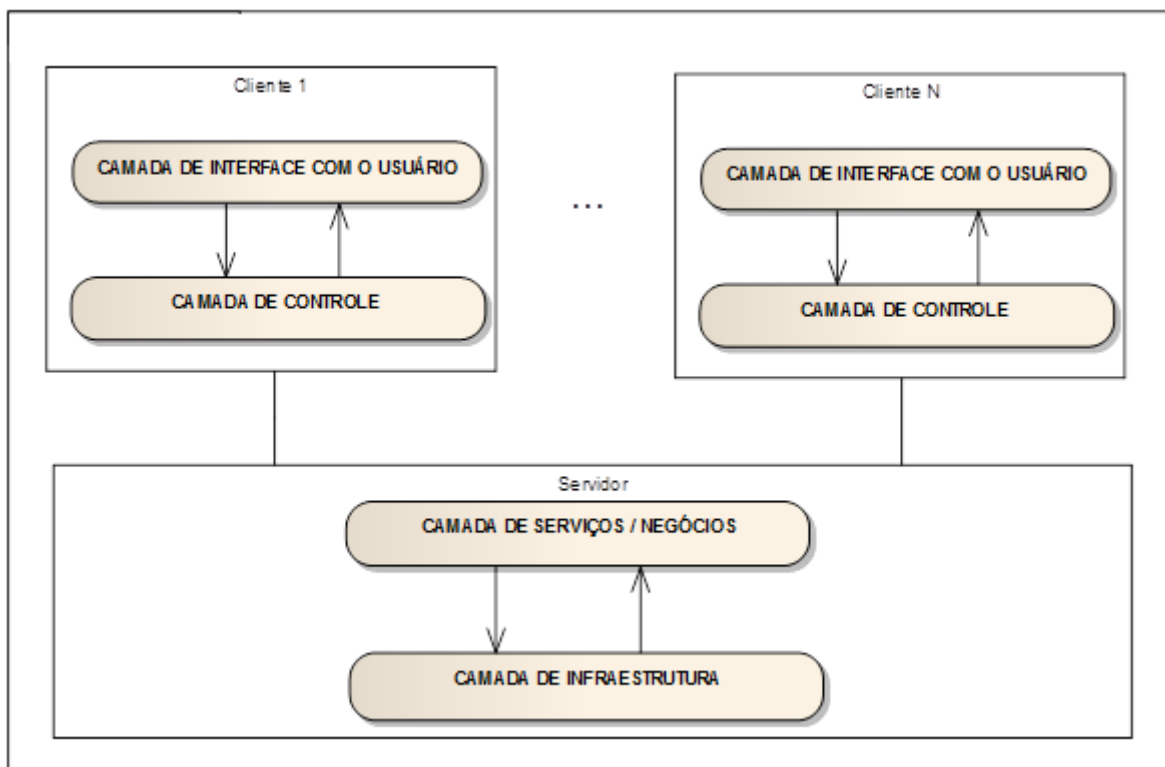
Este trabalho propõe uma arquitetura que permite a flexibilização, em trocas de módulos e manutenção. Além disso, ela permite ainda a adição de novos módulos agregando mais funcionalidades aos sistemas de navegação e visualização de informação para usuários com diversos tipos de deficiência física ou motora. Dentre

os tipos de deficiência física, pode-se destacar (Kouroupetroglou, 2013; Deficiência, 2015):

- monoplegia: paralisia em um membro do corpo;
- hemiplegia: paralisia na metade do corpo;
- paraplegia: paralisia da cintura para baixo;
- tetraplegia: paralisia do pescoço para baixo;
- amputado: falta de um membro do corpo;
- paralisia cerebral: lesão de uma ou mais áreas do sistema nervoso central.

A arquitetura com a representação dos clientes é mostrada na Figura 19.

Figura 19. Relacionamento entre as Interfaces



4.2.1. Camadas da Arquitetura

Como mostrado na Figura 18, a arquitetura foi concebida em 4 camadas: Infraestrutura, Camada de Serviços ou de Negócio, Camada de Controle, Camada de Interface com Usuário. Para uma melhor compreensão, cada uma delas é detalhada nas Figuras 20 e 21.

Figura 20. Diagrama de sequência das camadas da Arquitetura

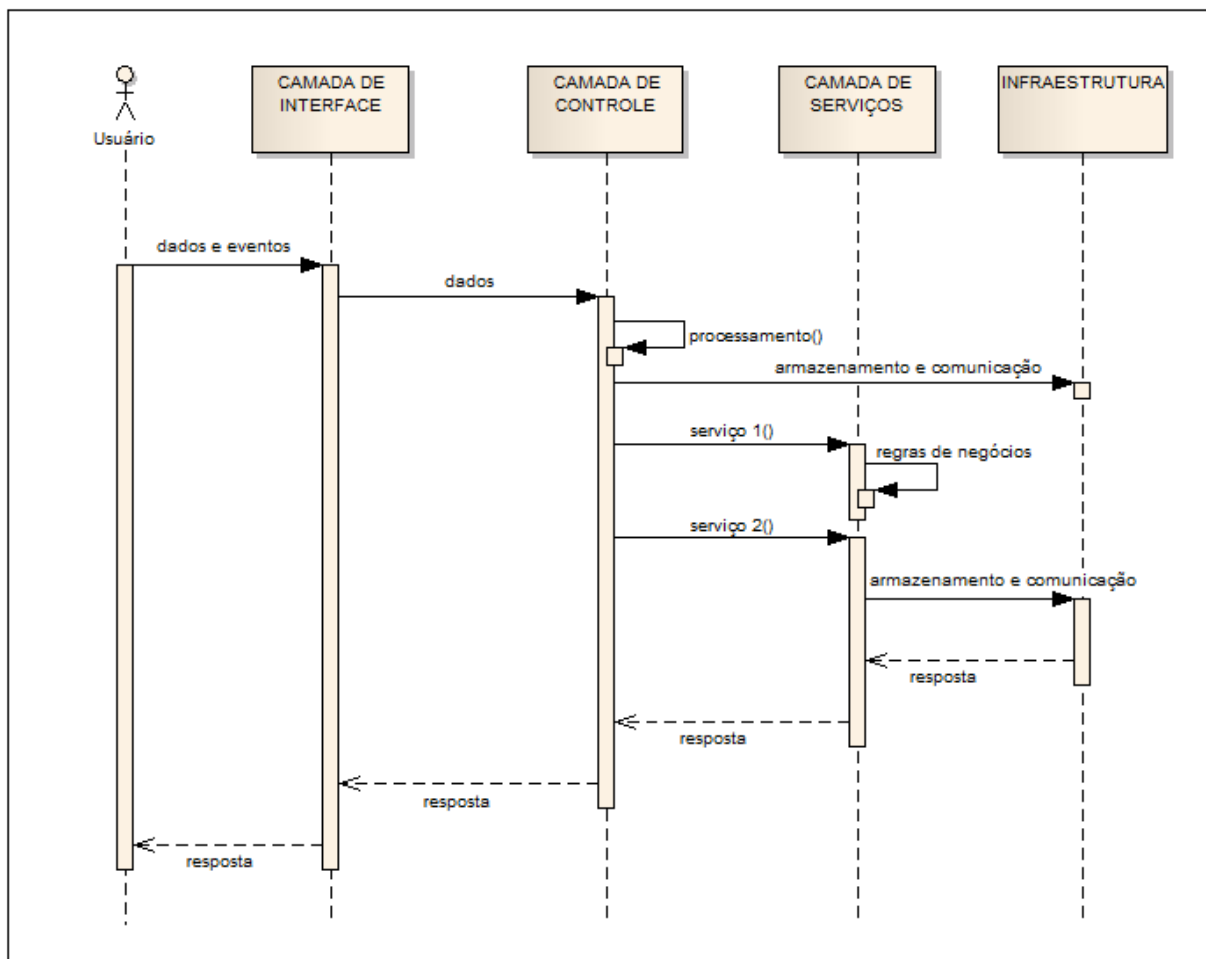
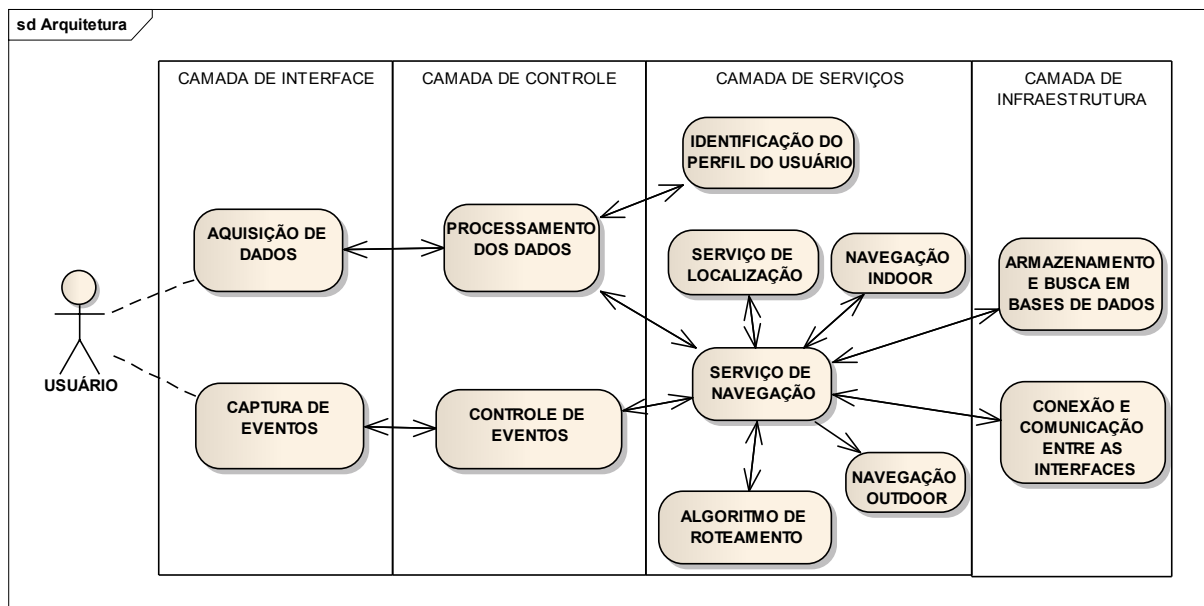


Figura 21. Integração das camadas da Arquitetura e seu funcionamento



1. Camada de Interface

A camada de interface é responsável por criar eventos específicos a cada interface, rotulando os dados em eventos que são únicos e permitindo que, simultaneamente, várias interfaces troquem informações de status, controle ou mesmo dados brutos (vetores, matrizes e texto) através de caminhos locais ou remotos.

Na camada de interface pode-se ter vários clientes implementados utilizando tecnologias diferentes para acesso às demais camadas da arquitetura. Cada cliente é construído conforme requisitos e perfis de usuários diferentes de acordo com os tipos de deficientes físicos.

A interface do usuário tem que exigir a menor quantidade de entrada, a fim de proporcionar algum serviço e esta de entrada não deve ser, necessariamente, de uma forma tátil, como é utilizado geralmente nas interfaces dos sistemas de navegação e localização. Além disso, os caminhos acessíveis durante a navegação devem ser informados ao usuário, de acordo com a perda de competências nos membros superiores ou inferiores.

A Figura 21 mostra que esta camada possui dois módulos: o Módulo de Aquisição de Dados que é responsável por interpretar os comandos (toque ou voz), quando o usuário seleciona um ponto de interesse, e o módulo Captura de Eventos que manipula essa característica.

2. Camada de Controle

A camada de controle recebe os dados da camada de interface gráfica com o usuário, realiza o processamento destes dados e retorna uma resposta para a camada cliente.

Essa camada é responsável por aceitar ou rejeitar os eventos que chegam ao módulo cliente. Além disso, esta camada dá suporte à camada de interface para criação de novos eventos a partir de pacotes de dados pré-definidos.

Dois módulos compreendem esta camada:

- Módulo de Processamento de Dados que recebe e interpreta a opção selecionada pelo usuário no módulo de Aquisição de Dados (camada anterior);
- Módulo Controle de Eventos, necessário quando eventos como comandos de voz / gestos são identificados na camada de interface.

3. Camada de Serviço ou Negócio

A camada de serviços ou negócio permite a criação de componentes ou serviços de localização e navegação. Estes componentes podem ser reutilizáveis dependendo da aplicação ou utilização do sistema.

Esta camada é responsável por todos os serviços que são solicitados para assegurar navegação interna em cadeira de rodas. Por exemplo, o módulo de Serviço de Localização é responsável controlar a posição dos marcadores fiduciais dentro do mapa do ambiente ou controlar a posição do usuário em relação aos dispositivos *beacons*. Isto é importante para gerar as direções das setas de acordo com a seleção do

usuário do ponto de chegada, executada pelo módulo de Algoritmo de Roteamento. O módulo de Navegação *Indoor* é responsável pelo controle de navegação com setas de direção na tela dos *smartphones*, através de técnicas de Realidade Aumentada. A identificação do perfil de usuário verifica o tipo de cadeirante (capaz de usar ambas as mãos e voz, apenas voz, etc.). O módulo de navegação exterior, que não foi implementado neste trabalho, foi projetado para permitir a navegação ao ar livre com a ajuda de dados GPS. A ideia é que quando os sinais GPS não puderem mais ser identificados, o módulo de Serviço de Navegação altere o controle para o módulo de Navegação *indoor*.

4. Camada de Infraestrutura

A Camada de Infraestrutura é responsável pelo acesso às informações (como mapas, desenhos CAD, pontos de interesse, posições dos marcadores no mapa, posições dos *beacons*, etc) com a conexão cliente(s) / servidor.

Este módulo é o de mais baixo nível da arquitetura encarregado pela comunicação entre as interfaces ou ao acesso a um repositório de dados.

4.3 Considerações Finais

Este Capítulo apresentou a proposta de um arquitetura para desenvolvimento de aplicações em que um usuário de cadeiras de rodas possa visualizar rotas que proporcionam a melhor navegação, evitando-se escadas e outros obstáculos.

Foram aplicados os conceitos da Realidade Aumentada Móvel para desenvolver aplicações para navegação de indivíduos cadeirantes em ambientes internos, utilizando a arquitetura proposta, apresentada no próximo capítulo.

Os requisitos propostos inicialmente para o sistema foram desenvolvidos. O sistema permite a navegação em um ambiente interno para encontrar pontos de interesse do cadeirante que identifica um caminho sem obstáculos, como por exemplo, escadas. Além disso, é possível configurar diferentes ambientes e posicionamento dos locais, marcadores e *beacons* no ambiente. Adicionalmente,

foram realizados alguns testes com comandos de voz para facilitar a usabilidade do sistema.

No próximo Capítulo são apresentados detalhes do desenvolvimento de uma aplicação desenvolvida para navegação em lugares internos de cadeirantes, utilizando a arquitetura proposta. Nesta aplicação, duas versões foram construídas, visando futuras comparações: uma versão utilizando marcadores fiduciais e outra versão utilizando *beacons*.

Capítulo 5

Desenvolvimento das Aplicações

Neste Capítulo são apresentados detalhes do desenvolvimento das aplicações, por meio de um estudo de caso, utilizando a arquitetura proposta anteriormente. Foram desenvolvidas duas versões de aplicações: a primeira utilizando Realidade Aumentada com marcadores fiduciais no ambiente e outra utilizando a tecnologia de *beacons* espalhados pelo ambiente. Em ambas as versões, o sistema é uma aplicação em que um usuário de cadeira de rodas deve ser capaz de visualizar rotas que proporcionam a melhor e mais segura navegação interior, evitando rampas, escadas e outros tipos de obstáculos.

5.1 Detalhes de Implementação

Esta seção apresenta a metodologia e as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento das aplicações de estudo de caso.

5.1.1 Tecnologias Utilizadas

Uma das plataformas para dispositivos móveis é o Android, que é aberta para desenvolvimento móvel e foi projetada para abstrair as diferenças entre as plataformas e para fornecer uma experiência de uso uniforme. O Android vem crescendo rapidamente e incorporando uma série de características diferentes, tais como o multi-toque e multitarefa (Lecheta, 2010) (Coutinho, Duarte *et al.*, 2011). Além disso, a plataforma Android permite o desenvolvimento de aplicativos que utilizam RA.

Os padrões de projeto e tecnologias utilizadas para desenvolver o Projeto IndoorAR (Projeto Web) são descritos a seguir.

- Model View Controller (MVC): é um padrão de arquitetura importante e muito útil para a construção de softwares interativos (Hansen e Fossum, 2005), sendo dividido em modelo (Java), controlador (Servlet) e visão (páginas JSP);
- Data Access Object (DAO): padrão de projeto de software para acessar fontes de dados;
- Hibernate: framework para acessar dados de persistência em aplicações de negócios em Java. O *hibernate* oferece a facilidade de organizar o objeto de mapeamento relacional entre objetos Java e as tabelas de banco de dados (Hemrajani, 2007).
- As linguagens para o desenvolvimento Web foram HTML, CSS, JavaScript e Java Server Pages (JSP).

O IndoorAR, projeto para gerenciamento das informações de configuração, foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Java e a ferramenta de desenvolvimento Eclipse (Eclipse, 2017).

As tecnologias e padrões usados para desenvolver o projeto m-indoorAR, que utiliza Realidade Aumentada com marcadores, estão listadas a seguir.

- Android: é uma plataforma para os aplicativos móveis, baseada em um sistema operacional Linux, com diversas aplicações já instaladas, e também um ambiente de desenvolvimento muito poderoso, inovador e flexível (Lecheta, 2010). O Android permite a utilização da linguagem Java e seus recursos para o desenvolvimento de aplicações, sendo uma plataforma livre e de código aberto (Burnette, 2009).
- Java: linguagem de programação usada para a plataforma Android.
- As informações são armazenadas em um banco de dados SQLite (Aditya, 2014). Este banco de dados é integrado com a plataforma Android.
- ARToolkit: é uma biblioteca de software para a construção de aplicações de RA que envolvem a sobreposição de imagens virtuais no mundo real (Coutinho, Duarte *et al.*, 2011). Esta biblioteca utiliza a câmera e marcadores (Andar, 2017). O ARToolKit foi utilizado para a geração de marcadores personalizados.
- AndAR (Android Augmented Reality): é uma biblioteca de software para criar aplicações de Realidade Aumentada na plataforma Android. Ela contém um conjunto de módulos que são responsáveis por registrar marcadores fiduciais e associar objetos virtuais a esses. Quando a câmera digital do *smartphone* captura uma imagem real, o AndAR fornece todas as transformações matemáticas necessárias para posicionar as setas de direção geradas no marcador fiducial. AndAR é baseado no ARToolKit que é uma das primeiras plataformas para desenvolver aplicações desktop AR (Andar, 2017).
- Blender: ferramenta de modelagem 3D de código aberto disponível para os principais sistemas operacionais (Blender, 2017), utilizada para modelar as setas.
- OpenGL ES (Open Graphics Library): é uma multi-plataforma API gráfica que especifica um software de interface padrão para o processamento de gráficos 3D hardware projetado para dispositivos embarcados. O Android inclui suporte para gráficos de alto desempenho em 2D e 3D OpenGL, especificamente, a API OpenGL ES (Smithwick e Verma, 2012; Opengl, 2017). Esta biblioteca é necessária porque o AndAR coloca apenas os objetos virtuais

no marcador fiducial. No entanto, um conjunto de rotações e translações é necessário para posicionar as setas na direção de navegação. O OpenGL ES executa as transformações matemáticas que forem necessárias realizar.

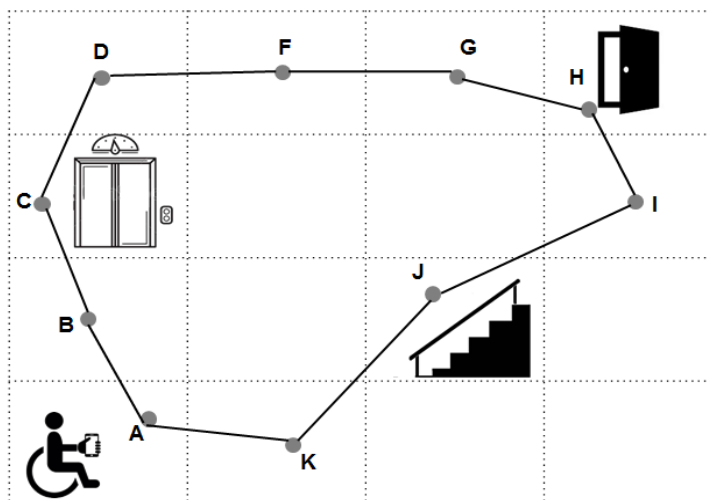
As tecnologias usadas para desenvolver o projeto que utiliza a tecnologia de *Beacons* são listadas a seguir.

- A plataforma Android, a linguagem de programação Java e o banco de dados SQLite que foram utilizadas na aplicação de RA com marcadores;
- A arquitetura Evothings que utiliza o conceito de cliente e servidor, no qual, o cliente é uma aplicação móvel que roda na linguagem de programação JavaScript e o servidor possui ativação para esses aplicativos. Essa implementação possui precisão de 10cm a 45m de distância entre o *beacon* e o usuário (Kindborg, 2015).

5.1.2 Algoritmo de Roteamento

Em um sistema de navegação para cadeirantes é importante que a seleção do caminho de navegação considere adequado um subconjunto das possíveis rotas, como por exemplo, ter rampas ou elevadores em vez de escadas, e que alguns destinos de especial importância, como banheiros para deficientes sejam destacados.

Desse modo, o problema da navegação em ambientes internos apresentado pode ser observado na Figura 22. O usuário cadeirante deve ir do ponto de origem "A" até o ponto de interesse "H" e existem dois caminhos possíveis: ABCDFGH e AKJIH. O caminho AKJIH é menor, porém ele possui um obstáculo que é a escada. Então, o melhor caminho para o usuário seria o caminho ABCDFGH que contém um elevador, não sendo um obstáculo para o cadeirante. Portanto, o sistema deve fornecer uma rota, considerando possíveis limitações físicas do usuário (um caminho sem rampas e outros obstáculos, por exemplo).

Figura 22. Navegação *indoor* para cadeirantes

Para tanto, é necessário um algoritmo de roteamento que considere obstáculos. Um dos algoritmos mais populares de roteamento utilizado para encontrar o caminho mais curto entre um ponto inicial e um ponto final foi idealizado por *Dijkstra*, que pode ser utilizado para navegação *indoor*. O algoritmo de *Dijkstra* utiliza a Teoria dos Grafos para solucionar o problema do caminho mais curto em um grafo contendo pesos nas arestas, em tempo computacional $O([m+n]\log n)$ onde m é o número de arestas e n é o número de vértices (Juzoji, Nakajima *et al.*, 2011; Jiang, Huang *et al.*, 2014; Kasantikul, Xiu *et al.*, 2015).

O algoritmo considera uma matriz de adjacência conforme exemplo da Figura 23.

Figura 23. Exemplo de Matriz de Adjacência do Algoritmo *Dijkstra*

pontos (nós)	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	*	*	*	*	*	*	*
1	30	0	*	*	*	*	*	*
2	100	80	0	*	*	*	*	*
3	*	*	120	0	*	*	*	*
4	*	*	*	150	0	25	*	*
5	*	*	*	100	*	0	90	140
6	*	*	*	*	*	*	0	100
7	170	*	*	*	*	*	*	0

A diagonal principal da matriz será igual "0", pois a distância de um nó até ele mesmo é zero. Os demais valores da matriz contém a distância das adjacências entre

os nós que são representados por um grafo. Quando não existir conexão, o símbolo "*" deve ser inserido.

Então, a entrada do algoritmo é um arquivo cujo formato representa a matriz de adjacência, conforme mostrado na Figura 24.

Figura 24. Arquivo da matriz adjacência do Algoritmo *Dijkstra*

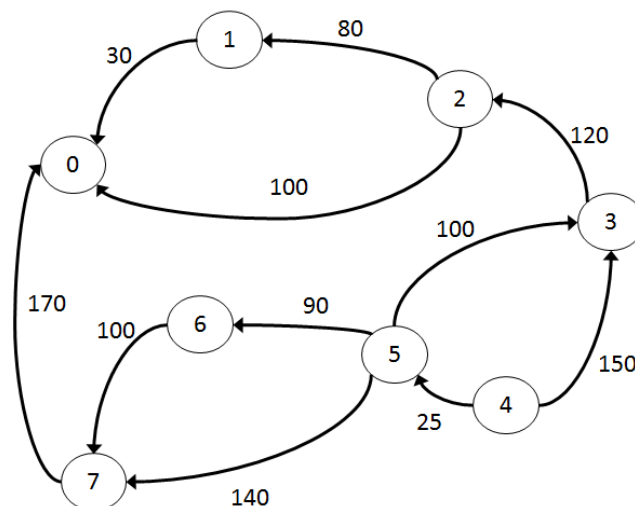
```

8
0 * * * * * * *
30 0 * * * * * *
100 80 0 * * * * *
* * 120 0 * * * *
* * * 150 0 25 * *
* * * 100 * 0 90 140
* * * * * * 0 100
170 * * * * * * 0

```

A primeira linha do arquivo deve conter o número de vértices. As demais linhas contêm os valores das distâncias da matriz adjacência. Este arquivo representa o grafo direcionado ilustrado na Figura 25.

Figura 25. Grafo correspondente a uma matriz adjacência do Algoritmo *Dijkstra* (Figura 24)



Por exemplo, o menor caminho partindo do ponto inicial "4" com destino ao ponto de interesse "0" é [4, 5, 7, 0] com distância total de 335. Mas, se o ponto "5" fosse uma escada (obstáculo), o menor caminho sem obstáculo é [4, 3, 2, 0] com distância total de 370.

No entanto, o algoritmo de *Dijkstra* não considera a existência de obstáculos nas rotas. Então, neste trabalho, o algoritmo foi adaptado para considerar estes obstáculos. Para isso, foi acrescentada uma linha no final do arquivo correspondente a matriz de adjacência (Figura 26). Esta linha contém “0” para os pontos que não são obstáculos e “1” para os pontos que contém obstáculos para o cadeirante, conforme exemplo da Figura 26 que mostra o ponto “5” marcado como obstáculo (“1”). Assim, o algoritmo irá retornar, como menor caminho sem obstáculos, o caminho [4, 3, 2, 0], ao invés do menor caminho [4, 5, 7, 0] que possui um obstáculo no ponto “5”.

Isto é, o algoritmo, neste caso, busca o menor caminho, mas se existir um obstáculo (marcado como “1”), é considerado o próximo menor caminho.

Figura 26. Arquivo da matriz adjacência do Algoritmo *Dijkstra* considerando obstáculos

```

8
0 * * * * * * *
30 0 * * * * * *
100 80 0 * * * * *
* * 120 0 * * * *
* * * 150 0 25 * *
* * * 100 * 0 90 140
* * * * * * 0 100
170 * * * * * * 0
0 0 0 0 0 1 0 0

```

Também foi considerado um arquivo correspondente a uma matriz adjacência de direções das setas no ambiente. Assim, após o retorno do menor caminho sem obstáculos pelo algoritmo de roteamento *Dijkstra* modificado, o sistema verifica qual a direção correta da seta (“D”: para a direita, “E”: para a esquerda, “F”: para frente e “T”: para trás).

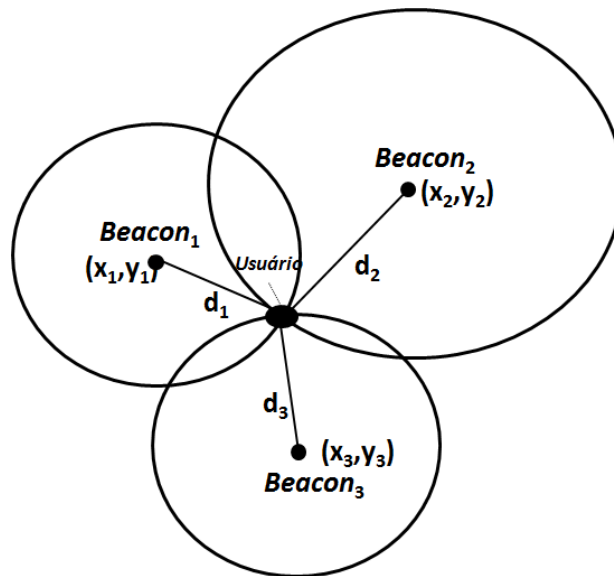
5.1.3 Cálculo da Triangulação na aplicação com *Beacons*

A triangulação é o processo de determinar a localização de um ponto, formando triângulos a partir de pontos conhecidos. A triangulação utiliza o lugar geométrico para obter a localização do usuário (Kleinberg, Slivkins *et al.*, 2009).

Primeiramente os *beacons* devem ser distribuídos no ambiente. Depois a distância euclidiana entre cada um dos três *beacon* e o usuário deve ser determinada

(d_1 , d_2 e d_3) e, por último, deve ser calculado o ponto de interseção entre os três *beacons* (Liu e Jain, 2014; Xiao, Zhou *et al.*, 2016), conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27. Utilização da distância entre *beacons* e o usuário para a triangulação



O cálculo da interseção é dado pela resolução do x e y do usuário nas Equações (1), (2) e (3), conforme segue.

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \quad (1)$$

$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2 \quad (2)$$

$$(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 = d_3^2 \quad (3)$$

5.1.4 Configuração dos Ambientes de Teste

Testes iniciais foram realizados no ambiente interno do Bloco 1E (Engenharia Elétrica) da Universidade Federal de Uberlândia, conforme o mapa mostrado na Figura 28. Porém, o Bloco 1E não possui obstáculos para cadeirantes, então, posteriormente foram realizados testes no ambiente interno do Bloco 5S, conforme o mapa mostrado na Figura 29, que possui escadas (obstáculos), bem como elevadores e rampas de acesso.

Antes da utilização do sistema pelo usuário, foi necessário realizar a configuração dos mapas de navegação. Neste sentido, as salas do Bloco 1E e do Bloco 5S, que correspondem aos locais de destino, foram configuradas no sistema.

Figura 28. Mapa CAD do Bloco 1E - Engenharia Elétrica da UFU

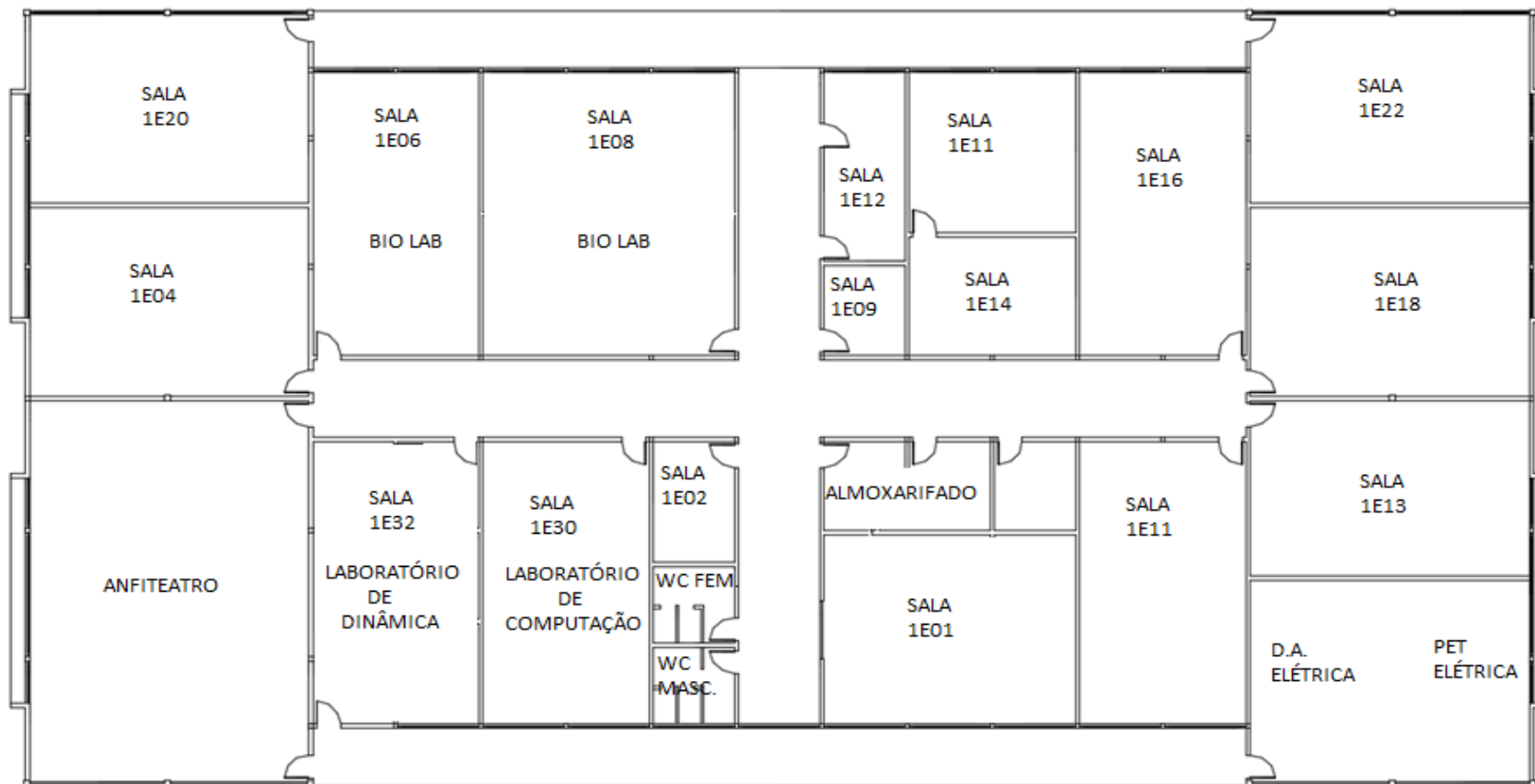
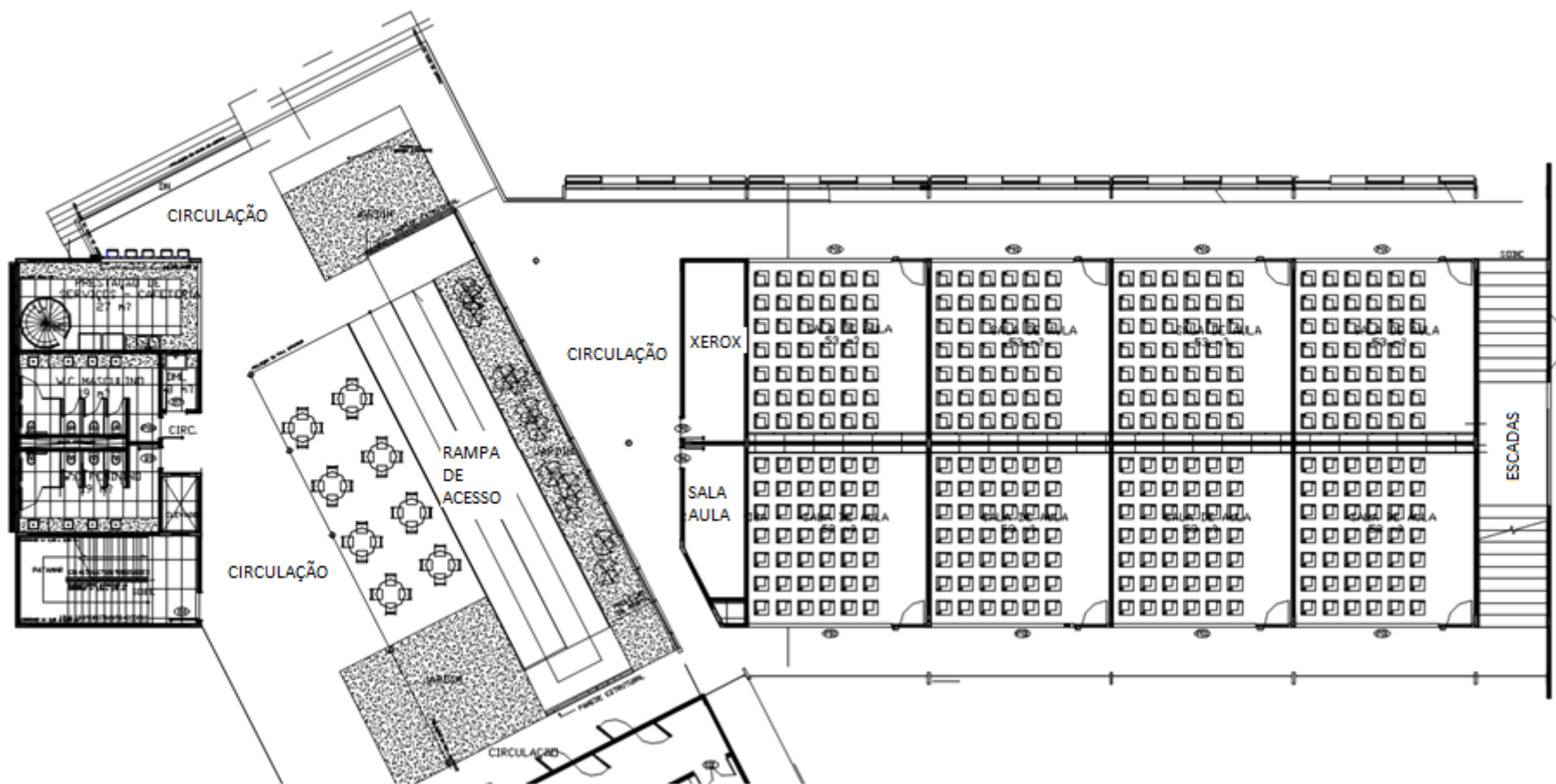
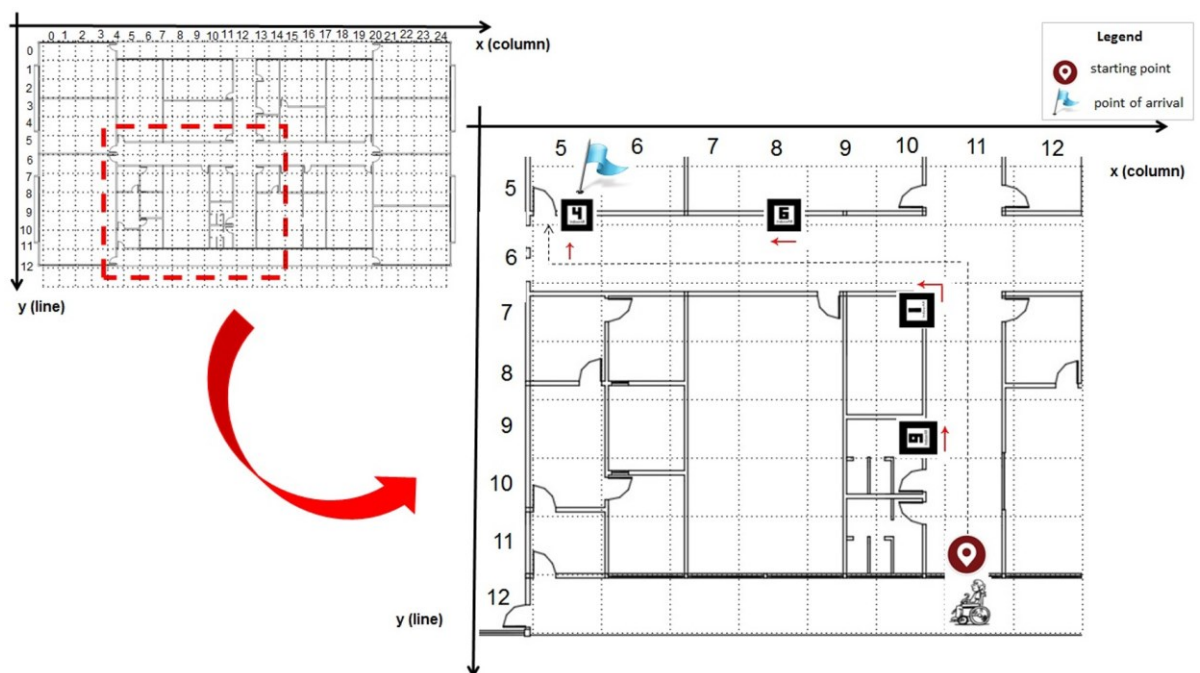


Figura 29. Mapa CAD do Bloco 5S da UFU



A aplicação de RA com marcadores foi testada nos dois ambientes (Bloco 1E e Bloco 5S), sendo que os marcadores foram posicionados nas portas de entrada de cada sala, conforme pode ser visto nas Figuras 31 e 32. É importante também ressaltar que a altura dos marcadores foi definida previamente para que fosse a altura do ombro do usuário médio (1,10 a 1,25m) sentado na cadeira de rodas. Na implementação, os mapas são considerados como uma matriz no plano cartesiano x e y, em que foram registradas as latitudes e longitudes de cada local do ambiente, bem como, as latitudes e longitudes dos marcadores (Figura 30).

Figura 30. Desenho CAD do Bloco 1E utilizado na prova de conceito de experiência. Na área ampliada são mostrados os pontos de início e chegada, juntamente com a posição de marcadores fiduciais (pequenos quadrados colocados nas paredes) e um possível caminho (linha tracejada).



A figura 30 mostra o posicionamento estratégico para os marcadores de referência. Para desenvolver o aplicativo baseado nesta arquitetura, é preciso primeiro considerar o registro do desenho CAD do prédio de interesse no local de armazenamento do *smartphone*. Em seguida, o mapa é dividido em uma matriz de

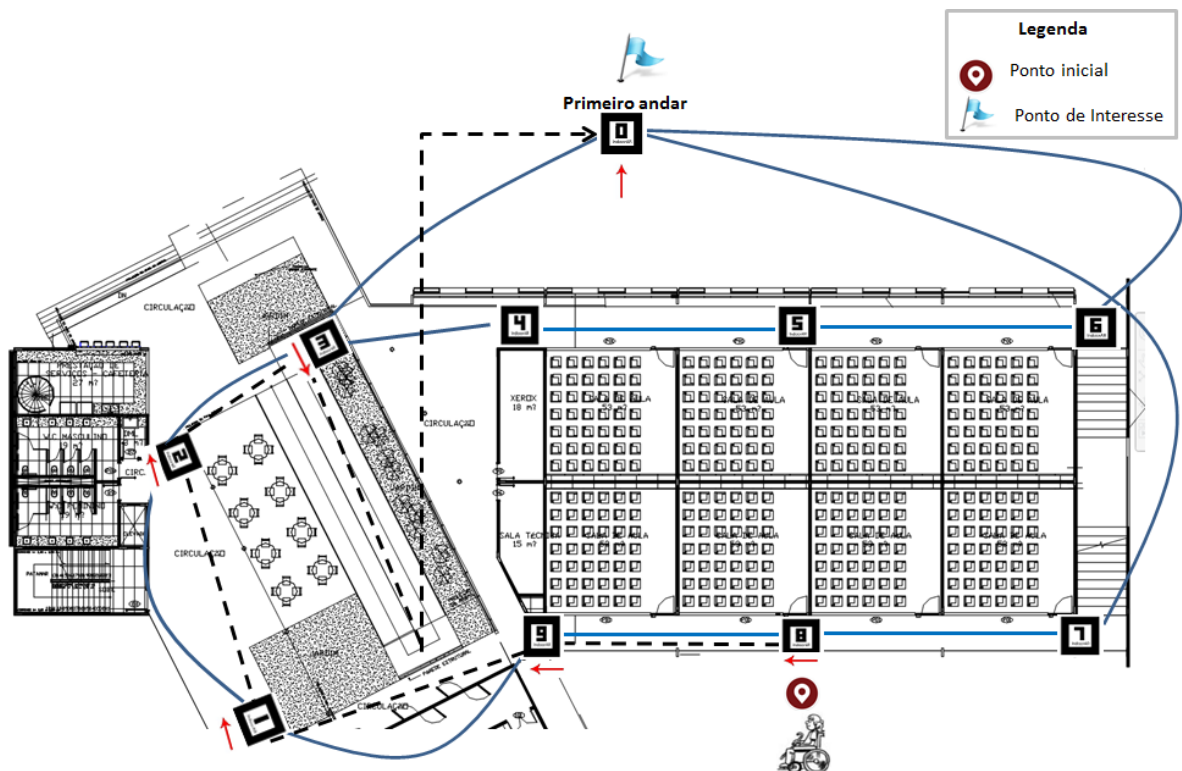
células. Cada célula representa um quadrado lateral de 2 metros, de acordo com a sua posição (coluna de linha). Também é possível configurar células com diferentes dimensões. Em seguida, marcadores fiduciais estão dispersos ao longo dos corredores do edifício e rotulados de acordo com a sua posição. Na Figura 30, por exemplo, o marcador fiducial '4' é rotulado como posição (5, 5). Da mesma forma, o sistema identifica o marcador fiducial '6', como posição (5, 8). O módulo da camada de serviço na arquitetura proposta realiza o registro de células e de marcadores fiduciais.

Para utilizar o sistema, o usuário da cadeira de rodas pode acessar o aplicativo e solicitar um ponto de interesse selecionando-o no *smartphone*, por toque ou por voz. Por exemplo, considerando a Figura 30, suponha que o usuário está na entrada principal do prédio (ponto de partida) e seleciona ir para uma sala referenciada pelo marcador '4'. O sistema processa a requisição e marca a posição '4' como o ponto de chegada. Neste ponto, um algoritmo de roteamento é ativado e permanece em um modo de "escuta", esperando um sinalizador do módulo de Navegação Interior, dizendo que um marcador foi encontrado e que uma seta direcional é solicitada. Após a seleção, o usuário começa a navegar nos corredores do prédio, procurando marcadores. Quando o usuário encontra um marcador, ele deve posicionar a tela do *smartphone*, com sua câmera digital ativada, na frente do marcador para identificar as instruções. Por exemplo, considere que o usuário alcança marcador fiducial '9', na Figura 30. Quando ele posiciona a câmera do *smartphone* na frente deste marcador, o módulo de Algoritmo de Roteamento prossegue com a direção da seta.

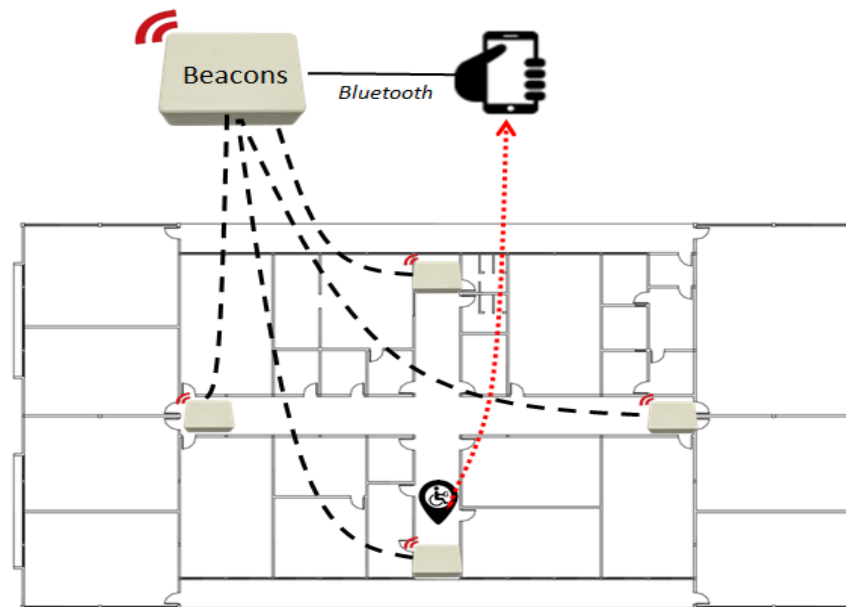
Adicionalmente, foram realizados testes no ambiente do Bloco 5S da UFU, configurando os marcadores, conforme ilustrado na Figura 31. Supondo que o usuário deseja navegar do ponto inicial da sala 5S108 (marcador "8") para o primeiro andar (sala "0"), o menor caminho é dado por [8, 7, 0] que contém a menor distâncias, no entanto o marcador "7" corresponde a uma escada que é um obstáculo para o cadeirante, logo, o algoritmo de roteamento *Dijkstra* adaptado nesta pesquisa, retornou o menor caminho livre de obstáculos é que dado por [8, 9, 1, 2, 3, 0], no qual o marcador "3" representa uma rampa de acesso ao primeiro andar. As distâncias

(pesos) de um ponto até o outro foram configuradas de forma manual observando-se o mapa no AutoCAD.

Figura 31. CAD do Bloco 5S utilizado na prova de conceito. São mostrados os pontos de início e de chegada, juntamente com a posição de marcadores fiduciais (nós do grafo) e um possível caminho (linha tracejada) livre de obstáculos.



Já a outra versão da aplicação que utiliza a tecnologia de *beacons* foi testada apenas no ambiente do Bloco 1E e os *beacons* foram posicionados nas extremidades do ambiente, conforme ilustrado na Figura 32.

Figura 32. Mapa de navegação e posicionamento de *beacons* no ambiente do Bloco 1E.

A Figura 32 mostra os *beacons* posicionados em cada uma das extremidades do mapa para que o *beacon* possa se conectar via *bluetooth* a um dispositivo móvel do usuário que deseja navegar neste ambiente. No entanto, estes dispositivos de *beacons* podem ser espalhados por um ambiente onde eles podem realizar a triangulação, a fim de localizar o usuário.

Nesta aplicação foram utilizados dois tipos de *beacons* para testes: Farol Beacon da empresa Menvia (Menvia, 2017), que é chamado de beacon brasileiro, mostrado na Figura 33 (a) e o W901 iBeacon modelo CC2541 da empresa WellCore (Wellcore, 2017), mostrado Figura 33 (b).

Figura 33. Tipos de *beacons* utilizados no projeto.

Além disso, foi utilizado o conceito semelhante a aplicação com RA para aplicações usando *beacons* que funcionam da seguinte forma: depois de selecionar o

ponto de navegação de interesse, o usuário está conectado à rede de *beacons*. Em seguida, o sistema calcula a distância entre estes e calcula a posição do usuário de forma que as informações sobre a rota possam ser exibidas na tela do *smartphone* do usuário por meio de um mapa de navegação.

Os testes do sistema foram realizados em dois diferentes *smartphones*: o Samsung™ Galaxy S2 com Sistema Operacional Android 2.3 e o Samsung™ Galaxy S5 com Sistema Operacional Android 5.0, com câmera para capturar as imagens dos marcadores ou conectar aos *beacons* via *bluetooth*.

5.2 Características da Aplicação

A Figura 34 mostra a tela de configuração de ambientes do Projeto IndoorAR. O usuário Administrador informa o nome, a descrição, o número de marcadores e o número de divisões do ambiente. Em seguida, ele seleciona a posição e direção de cada marcador no ambiente. Um ambiente é representado por uma matriz bi-dimensional que é gerada automaticamente dependendo do número de divisões selecionado pelo usuário.

Figura 34. Configuração de Ambientes do IndoorAR

A interface de configuração de ambientes do IndoorAR, intitulada "CADASTRO DE AMBIENTE", apresenta os seguintes elementos:

- Nome:** Campo de texto com o valor "Ambiente 2".
- Descrição:** Campo de texto com o valor "Ambiente 2 x 2".
- Número de Marcadores:** Campo de seleção com o valor "3".
- Número de Divisões:** Campo de seleção com o valor "4 (2x2)".
- Seleção de posição:** Uma seção intitulada "Selecione a posição dos 3 marcadores:" que contém uma matriz 2x2 de ícones. Os ícones são: um quadrado com um círculo no canto superior esquerdo, um quadrado com um círculo no canto superior direito, um quadrado com um círculo no canto inferior esquerdo, e um círculo azul no canto inferior direito.
- Seleção de direção:** Uma seção intitulada "Selecione a direção dos marcadores:" que contém três campos de seleção rotulados "Marcador 0:", "Marcador 1:" e "Marcador 2:". Cada campo tem o valor "No chão (cima)".
- Botões de ação:** Três botões amarelos localizados na base da interface: "Limpar", "Salvar" e "Voltar".

A Figura 35 mostra a tela de registro de objetos ou lugares onde o usuário Administrador seleciona o ambiente, e, em seguida, informa o tipo (objeto ou lugar), o nome e a descrição. Depois disso, o usuário seleciona a posição do objeto ou lugar dentro do ambiente representado pela matriz com os marcadores já configurados para o ambiente selecionado.

Figura 35. Configuração de Lugares / Objeto do m-IndoorAR

A tela de cadastro apresenta o seguinte layout:

- CADASTRO DE OBJETO / LUGAR** (título)
- Ambiente:** Ambiente 4 (menu suspenso)
- Tipo:** Objeto (radio desativado) / Lugar (radio ativado)
- Nome:** Lugar 4.1 (campo de texto)
- Descrição:** Lugar 4 (menu suspenso)
- Selecione a posição do objeto/lugar:** (instrução)
- Matriz de Seleção:** Uma grade 4x4 com botões "Selecione" e marcadores. O botão "Objeto Objeto 4.1" na segunda linha, segunda coluna está selecionado em vermelho. O botão "LUG" na terceira linha, terceira coluna está selecionado em verde.
- Botões:** Salvar e Voltar (na base da tela)

A abordagem de rastreamento e localização implementada utilizou-se de um conjunto de marcadores posicionados dentro do ambiente. No sistema, foram gerados os marcadores personalizados (Figura 36). Os marcadores de 0-9 são utilizados para exibir as setas e o marcador INFO é usado para visualizar as informações do objeto ou lugar selecionado. Mais marcadores podem ser gerados para utilização no sistema.

Figura 36. Marcadores para Localização e Visualização de Informação



Foram realizados testes de navegação com um voluntário (não cadeirante). A Figura 37 mostra o usuário na entrada do Bloco 1E da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Figura 37. (a) Cadeirante na entrada do Bloco 1E - UFU (b) Cadeirante entrando no Bloco 1E da UFU



(a)

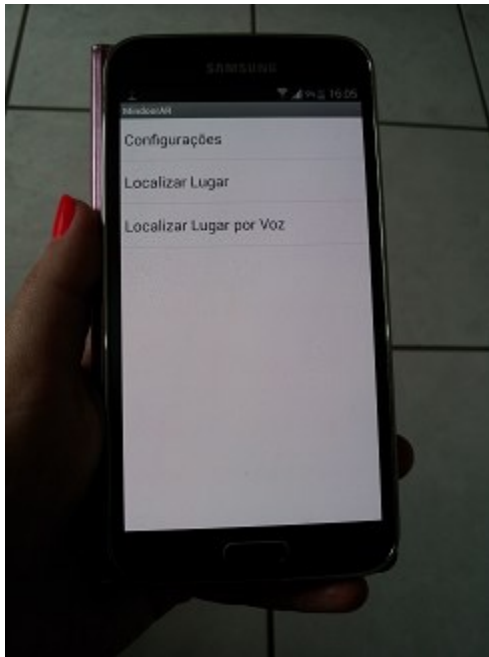


(b)

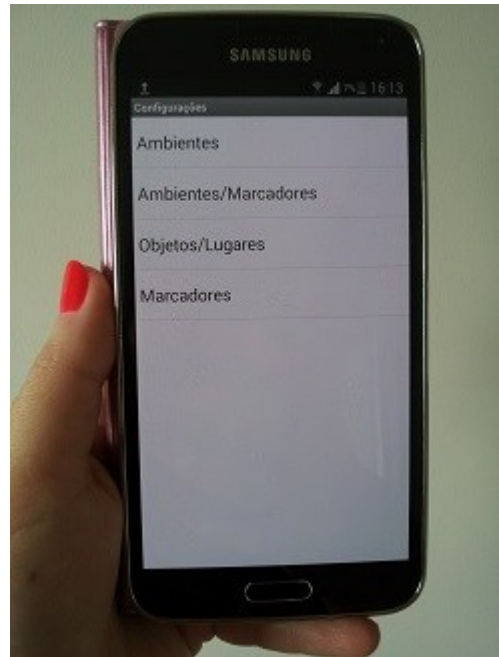
Inicialmente, antes da utilização do sistema de navegação, o Administrador deve realizar as configurações do mapa do ambiente. As configurações dos ambientes também podem ser realizadas de forma *off-line* no dispositivo móvel, conforme ilustrado nas Figuras 38 (a) e (b).

Após as informações de configuração, o usuário pode usar o Projeto m-IndoorAR. Inicialmente, o usuário seleciona o ambiente, e em seguida, o sistema exibe os objetos e lugares cadastrados para o ambiente selecionado. Após isso, o usuário seleciona qual objeto ou lugar quer localizar conforme ilustrado nas Figuras 38 e 39.

Figura 38. (a) Menu principal e (b) Menu de configurações no dispositivo móvel

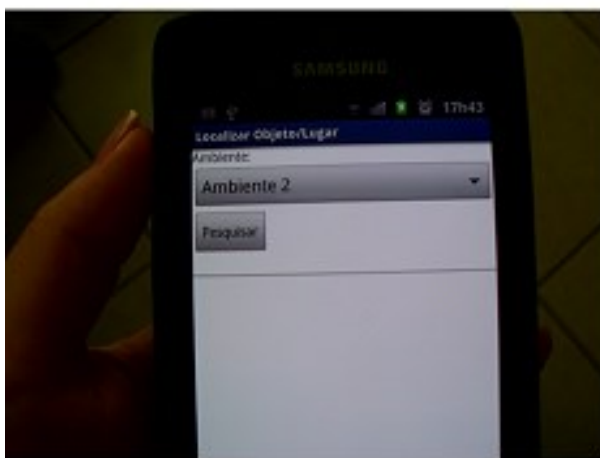


(a)



(b)

Figura 39. Passos para localizar lugares no projeto m-IndoorAR



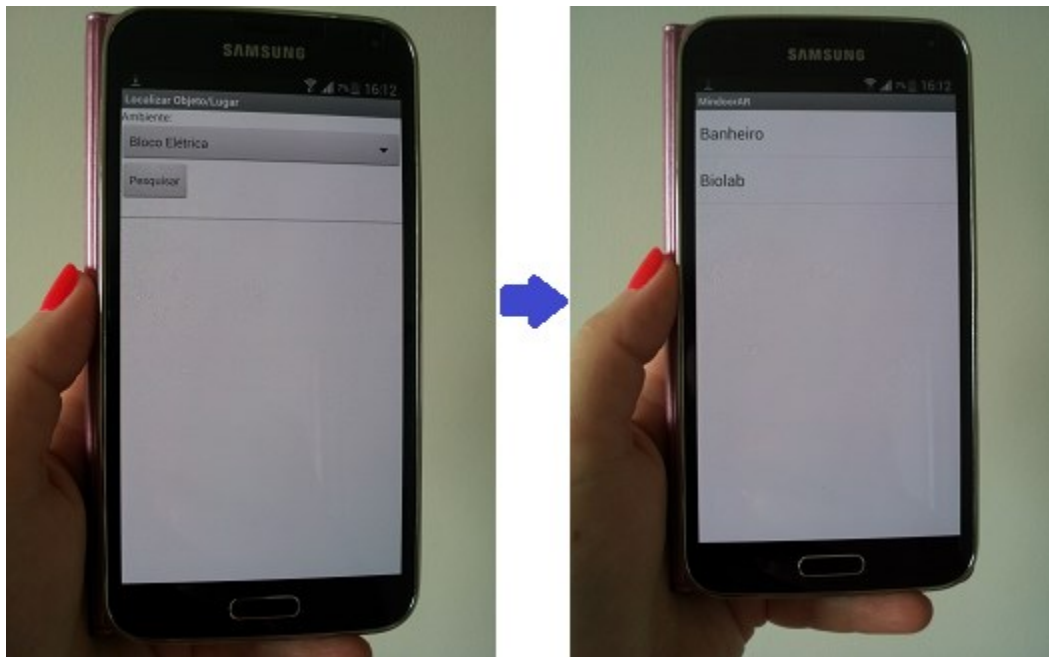
(a)



(b)

O ponto de partida foi fixado na entrada do edifício. Depois de iniciar o aplicativo, o usuário pode selecionar o ambiente desejado e, em seguida, o ponto de chegada desejado, como mostrado na Figura 40.

Figura 40. Passos para navegação *indoor* utilização seleção no projeto m-IndoorAR



A navegação também pode ser realizada através de comandos de voz, em que o usuário deverá falar o nome do ambiente em que se encontra, por exemplo, “Bloco Elétrica”, e depois falar o nome do ponto de interesse, como por exemplo, “Banheiro”. A interface de comando de voz é ilustrada nas Figuras 41 (a) e (b).

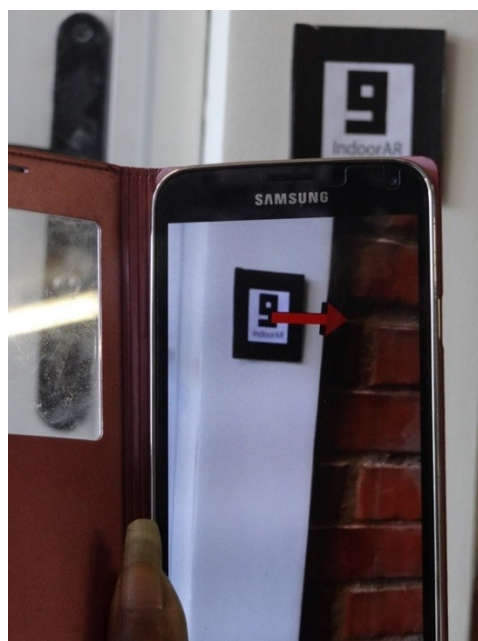
Figura 41. (a) Comando de voz para navegação no ambiente e (b) comando de voz para localização dos lugares



Após a seleção, o usuário capta o marcador na câmera do dispositivo móvel e assim o sistema exibe uma seta indicando a direção a ser seguida.

A Figura 42 mostra a tela em um dispositivo móvel, em que a direção através da seta em RA é apresentada para o usuário, mostrando um determinado caminho de um lugar escolhido pelo usuário.

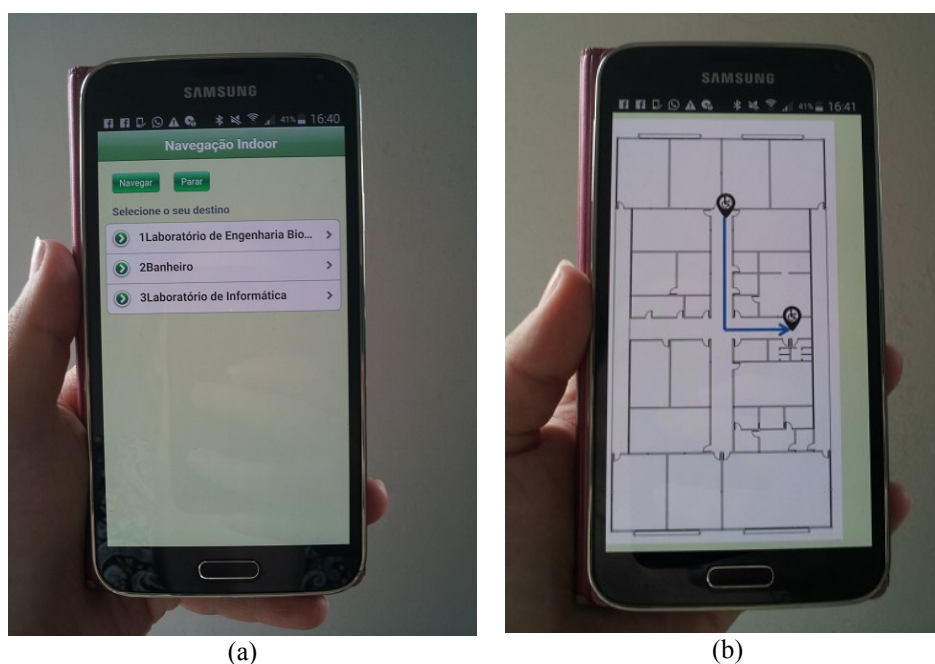
Figura 42. Navegação no sistema através de setas de RA



Uma vez selecionado o destino final, a interface apresenta a direção que o usuário cadeirante deve seguir para chegar ao destino, através da melhor rota livre de obstáculos.

A Figura 43 (a) mostra a tela de seleção do sistema de navegação indoor utilizando a tecnologia *beacons* e a Figura 43 (b) mostra a tela de navegação do usuário contendo o melhor caminho livre de obstáculos no mapa do ambiente.

Figura 43. Usuário utilizando o sistema de Navegação com a tecnologia de *beacons* (a) tela de seleção do ponto de interesse; (b) tela de navegação com o melhor caminho.



As Figuras de 44 a 47 mostram o voluntário com cadeiras de rodas utilizando o sistema de navegação *indoor* através de um celular *smartphone* dentro do Bloco 1E - Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). O usuário selecionou o local de destino como sendo o Laboratório de Engenharia Biomédica (BioLab).

As Figuras 44 (a) e (b) apresentam o usuário focalizando um marcador com o celular localizado em frente aos banheiros do Bloco 1E e o sistema apresentando o caminho em forma de setas indicando o sentido da seta para a direita.

Figura 44. Usuário utilizando o sistema de navegação em frente aos banheiros do Bloco 1E – Elétrica (UFU)



(a)



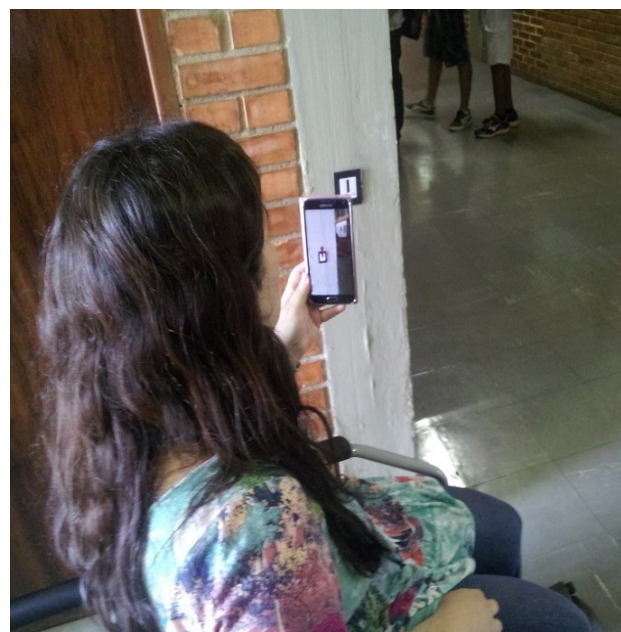
(b)

As Figuras 45 (a) e (b) apresentam o usuário focalizando um marcador com o celular localizado no cruzamento dos corredores do Bloco 1E e o sistema apresentando o caminho indicando uma seta para siga em frente.

Figura 45. Usuário utilizando o sistema de navegação no cruzamento de corredores do Bloco 1E – Elétrica (UFU).



(a)



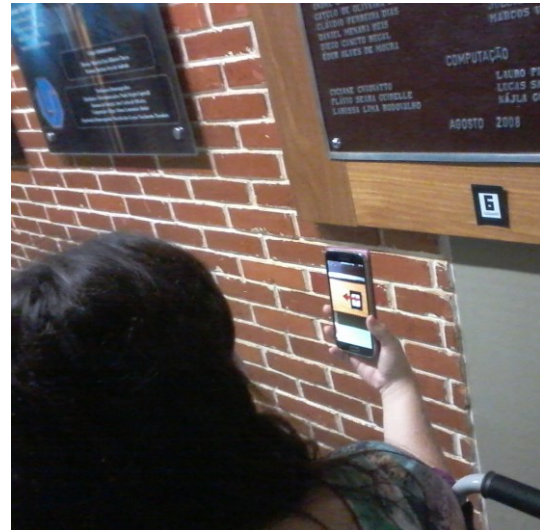
(b)

As Figuras 46 (a) e (b) apresentam o usuário focalizando um marcador com o celular localizado no corredor próximo ao laboratório BIOLAB do Bloco 1E e o sistema apresentando o caminho indicando uma seta para a esquerda.

Figura 46. Usuário utilizando o sistema de navegação no corredor próximo ao BIOLAB do Bloco 1E - Elétrica (UFU).



(a)



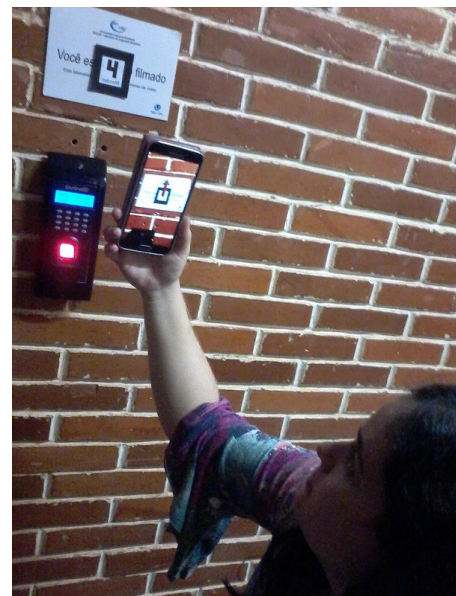
(b)

As Figuras 47 (a) e (b) apresentam o usuário focalizando um marcador com o celular localizado em frente ao laboratório BIOLAB do Bloco 1E e o sistema apresentando o caminho indicando uma seta para siga em frente.

Figura 47. Usuário utilizando o sistema de navegação em frente ao laboratório BIOLAB do Bloco 1E - Faculdade de Engenharia Elétrica (UFU).



(a)



(b)

5.3 Considerações Finais

Para ambas as plataformas (Realidade Aumentada com marcadores e Tecnologia de *beacons*), o sistema fornece uma aplicação de navegação *indoor* para ajudar os usuários de cadeiras de rodas a encontrar um banheiro ou um elevador, por exemplo. Ao usar o sistema, o usuário espera visualizar rotas de interesse com o melhor acesso livre de obstáculos.

Na aplicação com RA, ao passar por um marcador, o usuário pode capturar uma imagem associada a este marcador, usando a câmera do dispositivo móvel, o que levaria a apresentação da direção a ser seguida para a melhor rota a partir desse ponto. Na aplicação com a tecnologia *beacons*, o sistema localiza o usuário e também apresenta-lhe a direção das setas contendo a melhor rota.

Durante os experimentos, observou-se que o uso de marcadores fiduciais ou *beacons* permite uma navegação precisa e rápida mesmo em áreas onde sistemas tradicionais com navegadores ao ar livre do tipo GPS não funcionam.

Foram aplicados os conceitos da Realidade Aumentada Móvel e a tecnologia de *beacons* para desenvolver aplicações de navegação para indivíduos cadeirantes em ambientes internos, utilizando a arquitetura proposta.

Também foi testado a capacidade de dois diferentes *smartphones* para identificar o foco das imagens dos marcadores e foi encontrado que o reconhecimento das imagens pode ser facilmente alcançado para distâncias de marcador-câmera entre 10 cm e 3,5 metros. Além disso, uma das limitações encontrada no desenvolvimento desta aplicação utilizando *Beacon* foi que existe uma oscilação constante na distância entre o dispositivo e o usuário que poderá impactar na direção correta de navegação.

Os requisitos propostos inicialmente para o sistema foram desenvolvidos. O sistema permite a navegação em um ambiente interno para encontrar pontos de interesses do cadeirante que identifica um caminho sem obstáculos, como por exemplo, escadas. Além disso, é possível configurar diferentes ambientes e

posicionamento dos locais, marcadores e beacons no ambiente. Adicionalmente, foram realizados alguns testes com comandos de voz para facilitar a usabilidade do sistema.

No próximo Capítulo serão apresentados resultados de experimentos e discussão sobre estes resultados.

Capítulo 6

Resultados e Discussão

Este capítulo apresenta os resultados advindos da utilização da aplicação desenvolvida com o propósito de utilizar a Realidade Aumentada Móvel para navegação *indoor* de pessoas que utilizam cadeiras de rodas.

Como prova de conceito, foram desenvolvidos dois aplicativos para *smartphones* para suportar a navegação em ambientes internos: um utilizando marcadores fiduciais de Realidade Aumentada e outro utilizando a tecnologia de *Beacons*. Os testes de navegação foram realizados com seis voluntários cadeirantes para a aplicação que utiliza a tecnologia de RA e com dois voluntários cadeirantes para a aplicação que utiliza a tecnologia de *beacons*.

Assim, este capítulo trata da metodologia adotada para realizar essa avaliação e os resultados obtidos nesta pesquisa, apresentando informações referentes às suas etapas, às amostras selecionadas e aos instrumentos de coleta de dados.

6.1 Metodologia da Avaliação

6.1.1 Introdução

A fim de cumprir o objetivo de avaliar o potencial da Realidade Aumentada Móvel como Tecnologia Assistiva para cadeirantes, o software foi testado um bloco (prédio) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), com voluntários da instituição Associação dos Paraplégicos de Uberlândia (APARU). O projeto foi submetido e aprovado no Comitê de Ética da UFU (Anexos D e E).

6.1.2 Amostra

Segundo (Money, Babin *et al.*, 2005), um censo envolve a coleta de dados de todos os membros de uma população. Na maioria das situações, não se consegue executar o censo. Portanto, extrai-se uma amostra representativa da população. A população à qual se refere o público que se deseja estudar são cadeirantes do tipo paraplégicos.

O procedimento de extração da amostragem pode ser classificado em dois tipos: probabilístico e não-probabilístico. A amostragem probabilística é realizada por meio da seleção aleatória de um determinado número de indivíduos de uma população, sendo que seus resultados podem ser generalizados para a população alvo com um determinado nível de segurança. Já na amostragem não-probabilística, a seleção de elementos para a amostra não é necessariamente feita com o objetivo de ser estatisticamente representativa da população. A característica da amostragem não-probabilística está no pesquisador basear-se em métodos como sua experiência pessoal e o conhecimento de especialistas da área para a composição da amostra a ser analisada. Isso, contudo, não invalida resultados obtidos com amostragens não-probabilísticas que, geralmente, são adotadas em pesquisas exploratórias e nada impede que tais evidências possam ser complementadas por pesquisas futuras (Money, Babin *et al.*, 2005).

Neste sentido, o tipo de amostragem utilizado nesta pesquisa caracteriza-se como não-probabilístico, sendo, especificamente, denominado de amostragem por conveniência, em que neste caso, há uma seleção de elementos da amostra que estejam mais disponíveis para tomar parte do estudo e que podem oferecer informações necessárias (Money, Babin *et al.*, 2005). A instituição escolhida para a realização deste estudo foi aquela que estava com acesso disponível e permitido á pesquisadora pela instituição parceira, o que caracteriza a seleção como não-probabilística, por conveniência.

Os indivíduos da pesquisa foram pessoas do sexo masculino e feminino sendo todos cadeirantes da Associação de Paraplégicos de Uberlândia (APARU).

As fontes de material utilizadas na pesquisa foram os questionários aplicados (Anexos A e B) e outras informações fornecidas pelos indivíduos participantes (experiência do usuário, usabilidade, desempenho, qualidade do software, necessidades de melhorias, etc).

6.2 Resultados

6.2.1 Testes da Aplicação de RA com marcadores

Testes do aplicativo móvel usando marcadores com Realidade Aumentada foram realizados com seis voluntários cadeirantes, a fim de verificar os requisitos do sistema.

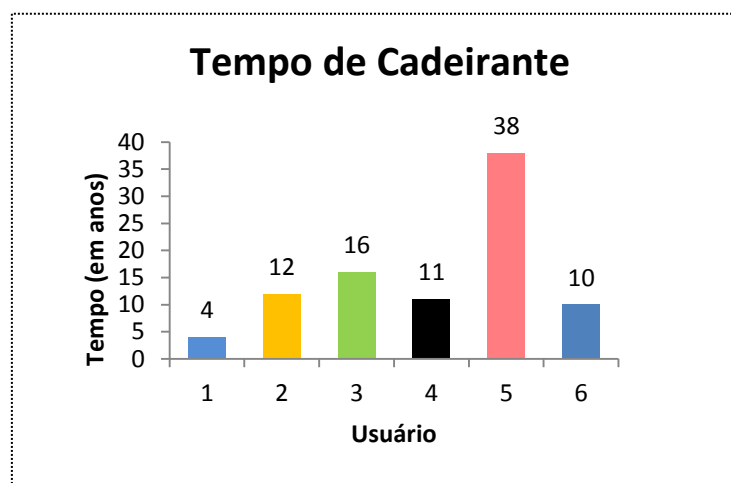
Na instituição APARU existe um total de duas mil pessoas que possuem deficiência motora. O público alvo eram cadeirantes paraplégicos. No entanto, durante a realização dos testes, compareceu um cadeirante do tipo tetraplégico que foi considerado na avaliação.

Primeiramente, foi aplicado o questionário do Anexo A, do qual foram coletadas informações pessoais dos indivíduos cadeirantes, conforme listadas a seguir:

- 83% dos cadeirantes possuem deficiência do tipo paraplégico e 17% possuem deficiência do tipo tetraplégico;
- 83% são do sexo feminino e 17% do sexo masculino;
- 83% possuem escolaridade máxima de Ensino Fundamental (1ª a 9ª série) e 17% possuem escolaridade máxima de Ensino Médio (1º a 3º ano);
- 100% dos indivíduos entrevistados não conheciam Realidade Aumentada;
- 57% dos cadeirantes possuem cadeiras de rodas motorizadas e 43% possuem cadeiras de rodas manuais.
- todos possuem idades entre 38 e 63 anos.

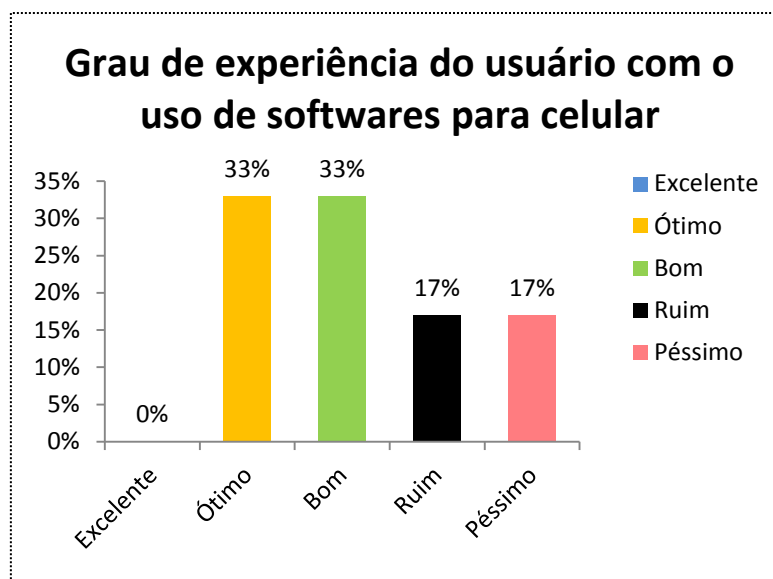
A Figura 48 mostra um gráfico de quanto tempo (em anos) os usuários são portadores de cadeiras de rodas. Dois cadeirantes realizaram os testes no Bloco 1E (cadeirante 1 e 5) e cinco cadeirantes realizaram os testes no Bloco 5S (cadeirantes 1, 2, 3, 4 e 6), sendo que o cadeirante 1 realizou os testes nos dois ambientes.

Figura 48. Gráfico do Tempo em que o Usuário é Portador de Cadeiras de Rodas



Com relação ao grau de experiência com o uso de software para celulares, o resultado é dado pelo gráfico da Figura 49.

Figura 49. Gráfico do Grau de Experiência do Usuário



Os cadeirantes ainda foram questionados sobre as principais dificuldades encontradas em um ambiente interno: existência de obstáculos tais como escadas, grandes degraus, falta de banheiros adaptados e portas estreitas. Como mencionado, esta aplicação visa também auxiliar no desvio dos obstáculos existentes em um ambiente interno, permitindo uma navegação adequada.

Após a aplicação do questionário do Anexo A, os cadeirantes utilizaram o sistema de navegação no ambiente interno da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Para estes experimentos, os CADs do edifício do Bloco 1E (Figura 28) e do Bloco 5S (Figura 29) foram inseridos no sistema e as posições dos marcadores (colocados ao longo dos caminhos possíveis) foram registradas no aplicativo. É importante notar que a altura do marcador foi definida, previamente, para que fosse a altura média do ombro do usuário sentado na cadeira de rodas, até o chão (1,10 a 1,25m).

As funcionalidades testadas foram: navegação utilizando Realidade Aumentada para chegar a um ponto de interesse de destino, utilização de comandos através de voz ou através de seleção e a configuração dos mapas dos ambientes e dos marcadores.

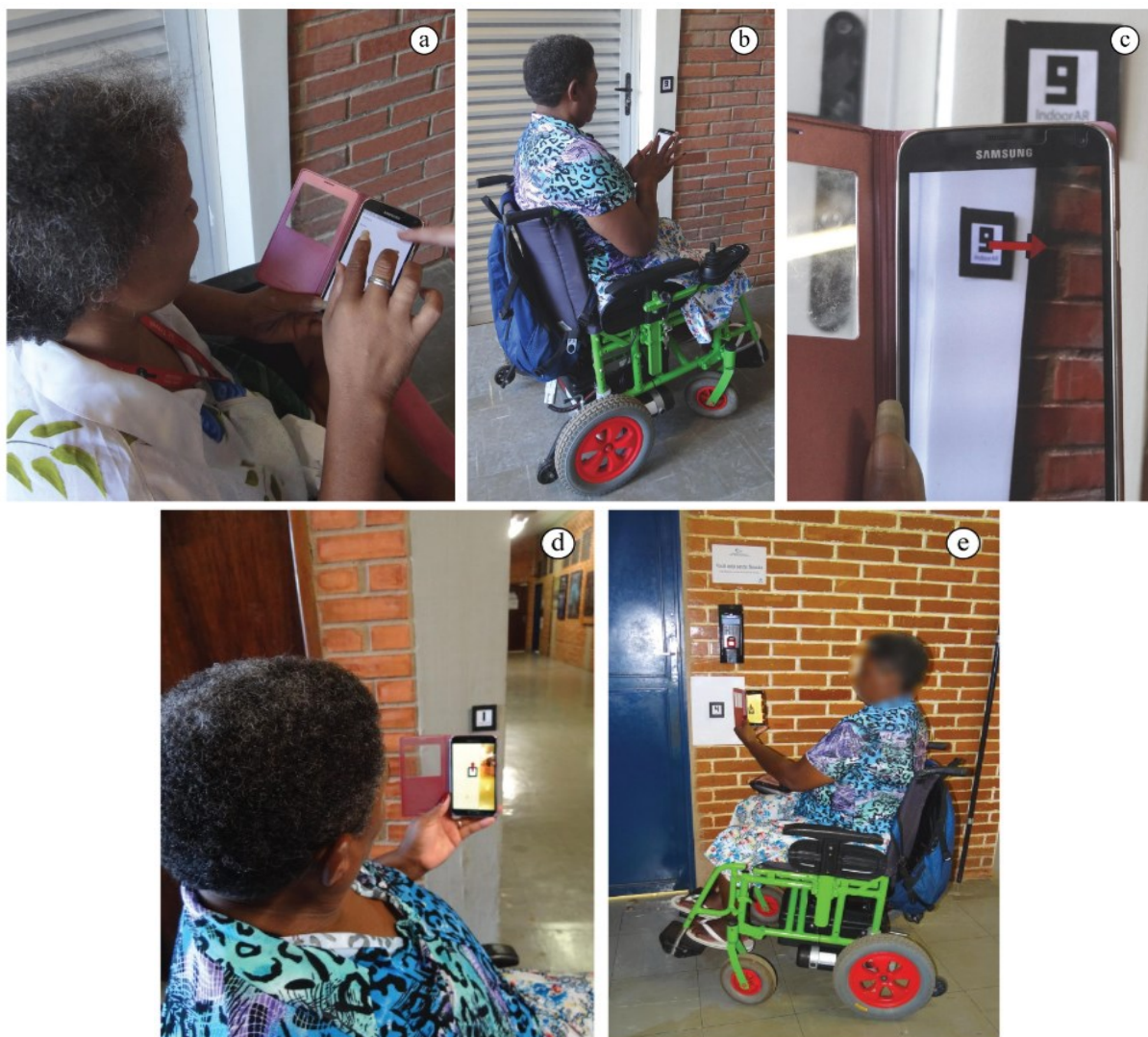
Em uma primeira etapa, foram realizados testes com duas voluntárias cadeirantes no Bloco 1E, considerando o ponto inicial estabelecido como sendo a

entrada do edifício. Depois de iniciar o aplicativo, definiu-se como ponto de interesse o Laboratório de Engenharia Biomédica (BioLAB), como mostrado na Figura 30. A navegação também pode ser controlada por uma interface de voz padrão do *smartphone*, apenas vocalizando comandos e nomes de locais, como "Bloco Elétrica", seguido por "Banheiro". Os sinônimos não são tratados nesta versão do sistema.

Uma vez selecionado o destino final, a interface apresenta a direção que o cadeirante deve seguir para chegar ao seu destino. A direção apresentada considera o melhor caminho, ou seja, aquele que seja livre de obstáculos (por exemplo, escadas). Ao passar por um marcador, o usuário captura uma imagem desse marcador. Daí, a câmera do dispositivo móvel apresenta a orientação que deve ser seguida para a melhor rota a partir deste ponto (Figuras 50 (c) e 50 (d)). A Figura 50 mostra várias etapas associadas ao uso da aplicação para guiar a navegação de cadeirantes no ambiente interno do Bloco 1E. As Figuras 50 (a) e (b) mostram as voluntárias 1 e 2 iniciando a navegação, respectivamente. A Figura 50 (c) mostra a voluntária 1 na frente do primeiro marcador fiducial com o sistema apresentando a direção para a melhor rota livre de obstáculos, a partir desse ponto para a localização desejada. A Figura 50 (d) ilustra a voluntária 2 na frente de outro marcador fiducial e a Figura 50 (e) mostra a voluntária 2 chegando no local de interesse.

Como o Bloco 1E não possui obstáculos, tais como escadas, foi selecionado outro bloco da UFU (Bloco 5S) que possui escadas e também rampas de acesso aos andares do edifício para a realização dos testes finais. Estes experimentos contaram com a colaboração de cinco voluntários cadeirantes.

Figura 50. (a) Voluntário 1 iniciando navegação; (b) Voluntário 2 iniciando navegação; (c) Sistema apresentando a direção (d) Usuário em outro marcador; (e) Usuário no local de chegada (BioLAB).

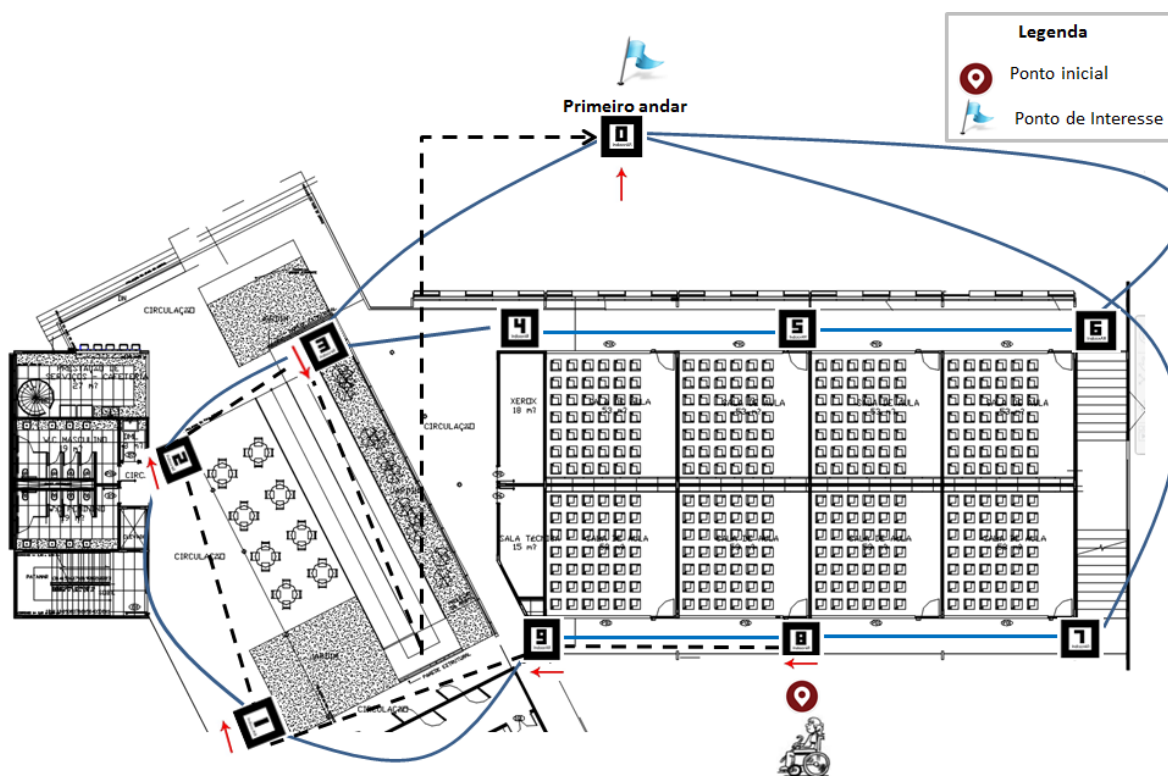


Um percurso (linha tracejada da Figura 51) foi selecionado partindo da sala 5S108 (marcador "8"), como sendo o ponto de origem, que se encontra no térreo do Bloco 5S até o depósito (marcador "0"), como sendo o ponto de interesse (chegada), que se encontra no primeiro andar do mesmo bloco. As ligações entre os marcadores indicam os possíveis caminhos que o usuário pode percorrer no mapa. Os marcadores "6" e "7" são considerados obstáculos para os cadeirantes, pois são escadas, e o marcador "3" possui uma rampa que permite acesso ao andar superior.

A distância percorrida entre o ponto de origem ao ponto de destino foi de 258 metros. O menor caminho seria passar pelos marcadores na ordem ["8", "7", "0"], porém, o marcador "7" é uma escada, considerado obstáculo para o cadeirante.

Então, o sistema indicou a navegação pelo caminho passando pelos marcadores ["8", "9", "1", "2", "3", "0"], em que o marcador "3" se encontra em uma rampa de acesso para o indivíduo portador de cadeiras de rodas.

Figura 51. Percurso percorrido pelos cadeirantes no Bloco 5S

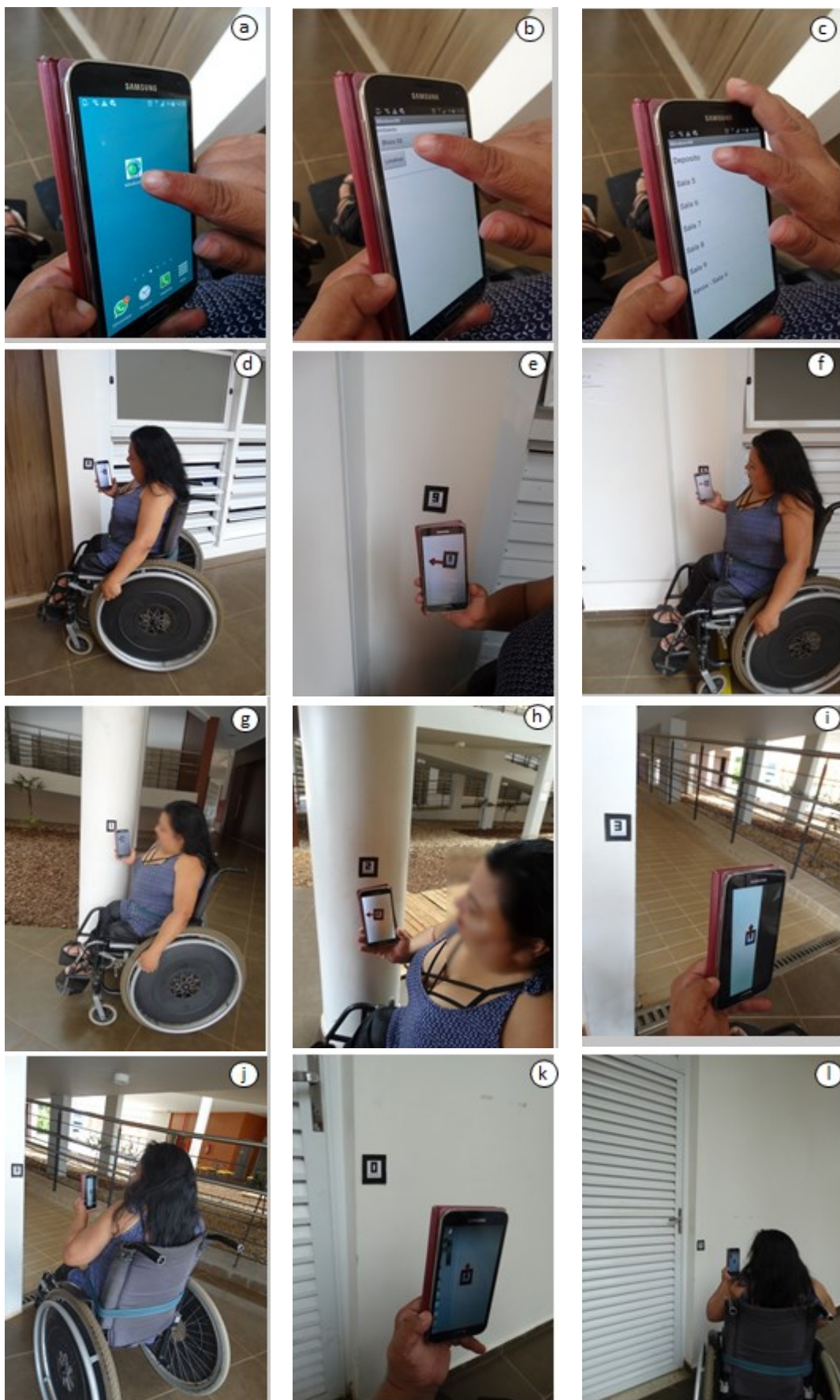


A Figura 52 mostra todas as etapas percorridas por uma voluntária cadeirante, portadora de cadeiras rodas do tipo manual e que possui deficiência do tipo paraplégico, no percurso selecionado da sala 5S108 (marcador "8") até depósito (marcador "0"), que são:

- seleção do sistema no *smartphone* (Figura 52 (a));
- seleção de um edifício da UFU, que é o Bloco 5S (Figura 52 (b));
- seleção do ponto de interesse que deseja chegar, que é o depósito e que se encontra no primeiro andar (Figura 52 (c));
- início da navegação no primeiro marcador "8" (Figura 52 (d)). Neste caso, o sistema mostra uma seta em Realidade Aumentada, indicando para a esquerda, que é o sentido que o voluntário deve seguir para navegar até seu destino;

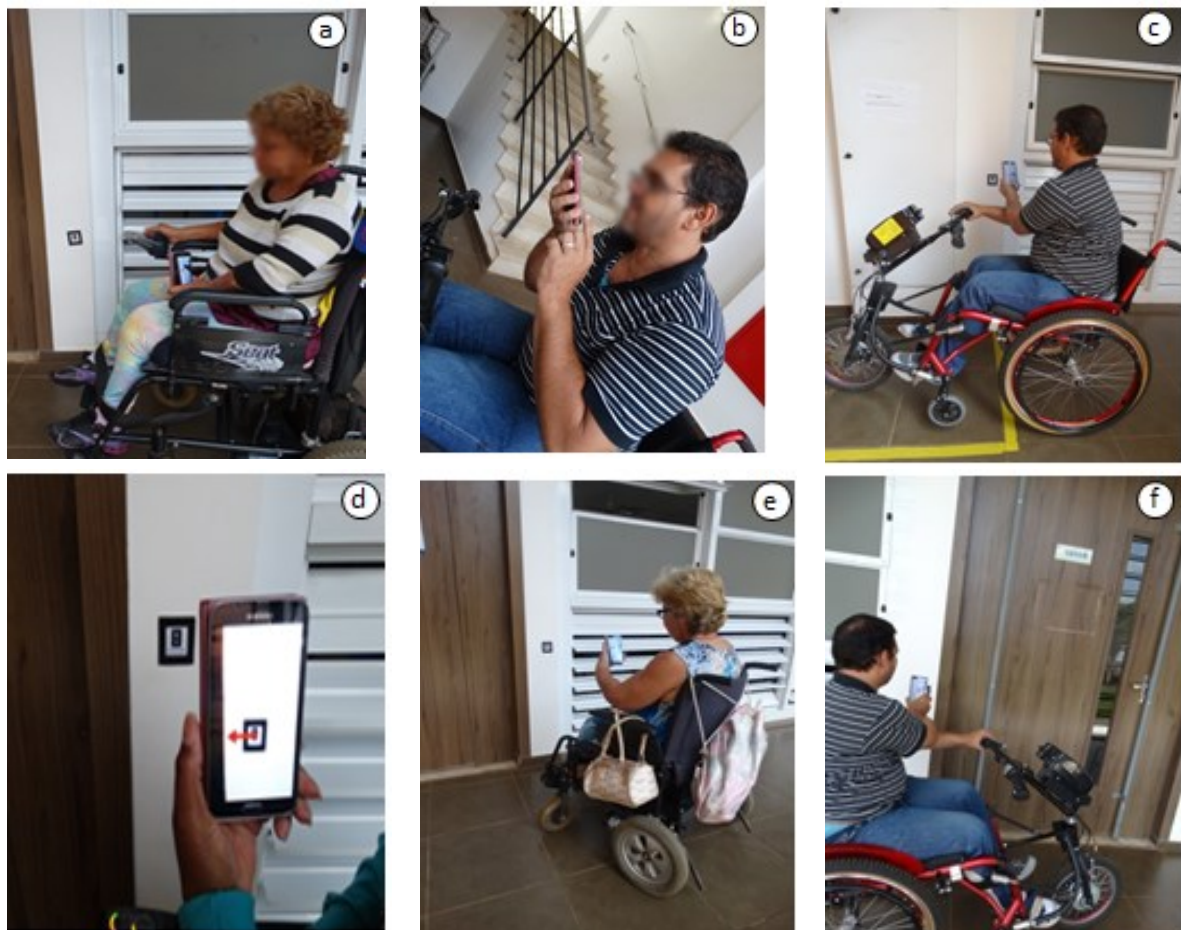
- próximo marcador “9” (Figuras 52 (e) e (f)) com o sistema também apresentando a direção (seta para a esquerda) para a melhor rota livre de obstáculos, a partir desse ponto para a localização desejada;
- o usuário em frente ao marcador “1” (Figura 52 (g)) no qual o sistema mostra sentido de navegação para a esquerda;
- o usuário em frente ao marcador “2” (Figura 52 (h)) no qual o sistema mostra sentido de navegação para a esquerda;
- o usuário em frente ao marcador 3 indicando para subir a rampa de acesso (seta para frente) (Figuras 52 (i) e (j));
- o sistema exibindo a direção para frente que indica que chegou no seu destino (marcador “0”) (Figura 52 (k));
- o voluntário chegando no seu local de interesse (Figura 52 (l)).

Figura 52. Etapas de Navegação de um Cadeirante no Bloco 5S



Outras etapas associadas ao uso da aplicação de navegação *indoor* para cadeirantes utilizando RA aplicada no Bloco 5S podem ser visualizadas na Figura 53: a Figura 53 (a) ilustra uma voluntária tetraplégica usando o sistema; a Figura 53 (b) mostra um voluntário usando o sistema via comandos de voz e, posteriormente, este mesmo usuário (Figura 53 (c)) que é portador de cadeira de rodas manual e motorizada, realizando a navegação no ambiente; a Figura 53 (d) apresenta o sistema indicando a direção de navegação no primeiro marcador “8” do ponto de origem do percurso escolhido. A Figura 53 (e) apresenta outro voluntário em frente ao um marcador utilizando o sistema; e por fim, a Figura 53 (f) mostra um usuário que foi submetido a um teste de um percurso 2 que inicia como ponto inicial o marcador “6” até o ponto de interesse: marcador “0”. Neste percurso 2, o menor caminho seria [“6”, “0”], porém no marcador “6” possui uma escada, então, o sistema apresentou o menor caminho livre de obstáculo que é dado por [“6”, “5”, “4”, “3”, “0”], com distância de 205 metros.

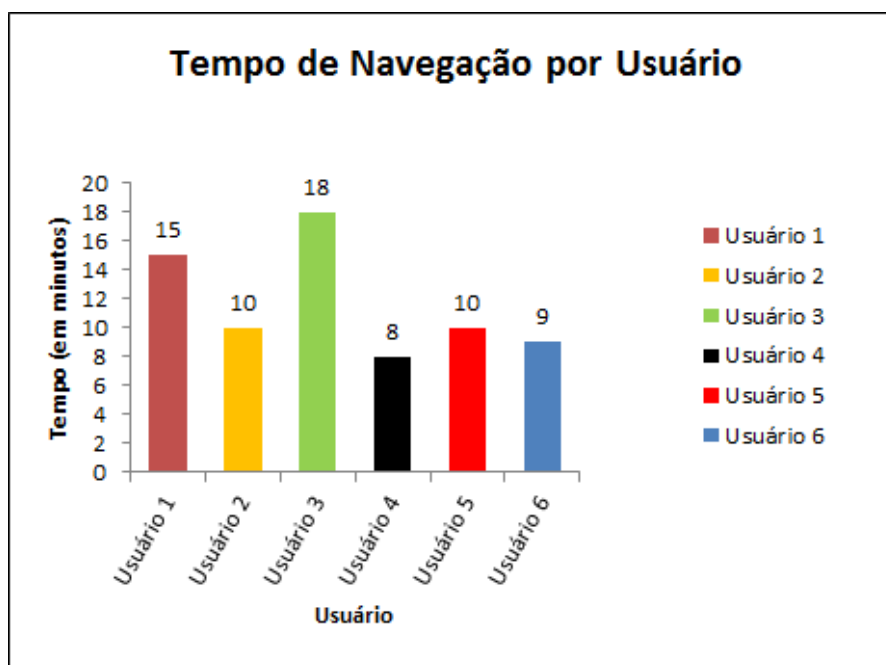
Figura 53. Outras etapas da navegação de cadeirantes no ambiente interno do Bloco 5S



Após a utilização do sistema por parte dos cadeirantes, os mesmos responderam ao questionário do Anexo B. Para a avaliação dos resultados foi considerado como métrica o tempo gasto para navegar do ponto de origem ao ponto de destino e também coletado as opiniões dos cadeirantes com relação a: facilidade de uso, satisfação com o sistema, tempo de processamento, se o sistema mostrou o melhor caminho livre de obstáculos, limitações do sistema e sugestões de melhorias.

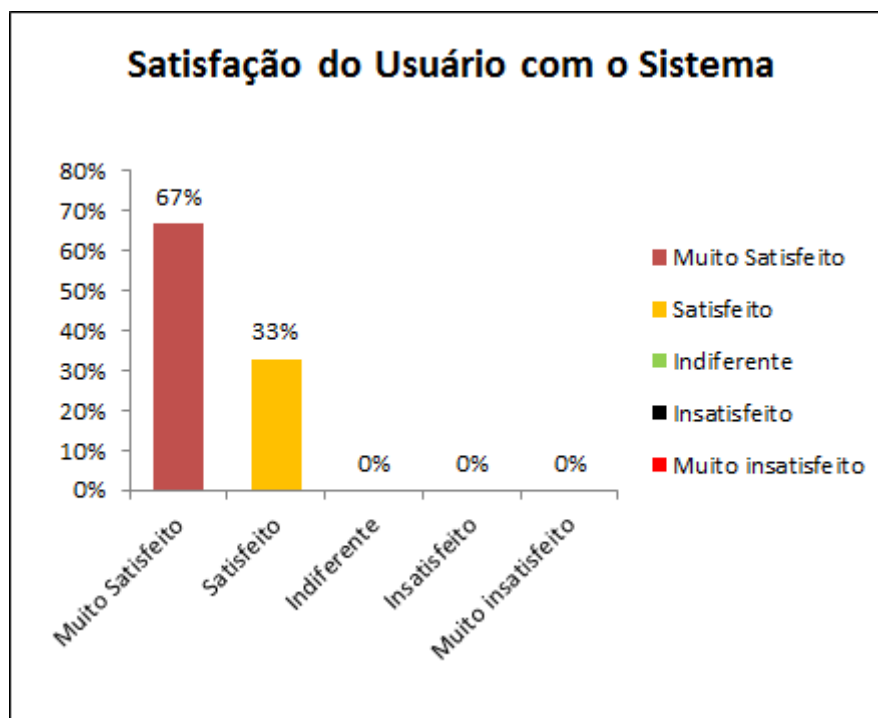
O tempo gasto para navegar do ponto de origem (marcador “8”) ao ponto de destino (marcador “0”) foi calculado para cada usuário conforme mostra o gráfico da Figura 54. A média do tempo gasto pelos cadeirantes foi de 11,6 minutos. Deve-se considerar que o usuário que gastou o maior tempo (18 minutos) para realizar o percurso foi devido a suas limitações por se tratar de um caso de tetraplegia. Antes do teste deste usuário, por exemplo, ele não conseguia, sem ajuda externa, retirar os óculos para poder enxergar as informações no *smartphone*. Porém conseguiu utilizar o sistema.

Figura 54. Gráfico de Tempo de Navegação por Usuário



Pode-se notar através do gráfico da Figura 55 que o sistema foi muito bem avaliado quanto a sua satisfação.

Figura 55. Gráfico de Satisfação de Navegação por Usuário



Durante todos os testes do aplicativo usando Realidade Aumentada Móvel com marcadores não ocorreram erros de direção da navegação e o sistema apresentou o melhor caminho sem obstáculos.

Todos os usuários se manifestaram satisfeitos com o tempo de resposta do sistema, isto é, os usuários disseram que o sistema não teve problemas com relação ao desempenho. Além disso, todos os participantes disseram que gostariam de ter o software instalado em seus celulares. Dentre as vantagens citadas pelos participantes, encontra-se que o aplicativo é de fácil utilização, rápido e lhes facilita a navegação em ambientes internos.

Alguns indivíduos não tiveram dificuldades na utilização do sistema. Porém no caso do cadeirante tetraplégico, os marcadores tiveram que ser posicionados em uma altura menor devido a limitação de mobilidade das mãos. Uma sugestão apresentada foi para aumentar o tamanho dos marcadores no ambiente para facilitar enxergá-los e encontrá-los no ambiente.

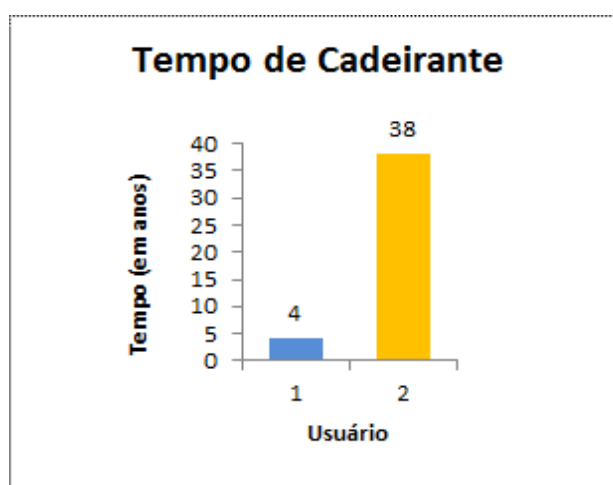
6.2.2 Testes da Aplicação com a tecnologia *Beacons*

Testes do aplicativo usando *beacons* foram realizados com duas voluntárias cadeirantes. Primeiramente, da mesma forma que na aplicação com RA, foi aplicado o questionário do Anexo A, do qual foram coletadas informações pessoais dos indivíduos cadeirantes, conforme listadas a seguir:

- 100% dos cadeirantes possuem deficiência do tipo paraplégico;
- 100% são do sexo feminino e 17% do sexo masculino;
- 50% possuem escolaridade máxima de Ensino Fundamental (1ª a 9ª série) e 50% possuem escolaridade máxima de Ensino Médio (1º a 3º ano);
- 100% dos indivíduos entrevistados não conheciam Realidade Aumentada;
- 50% dos cadeirantes possuem cadeiras de rodas motorizadas e 50% possuem cadeiras de rodas manuais.
- elas possuem idades de 38 e 51 anos.

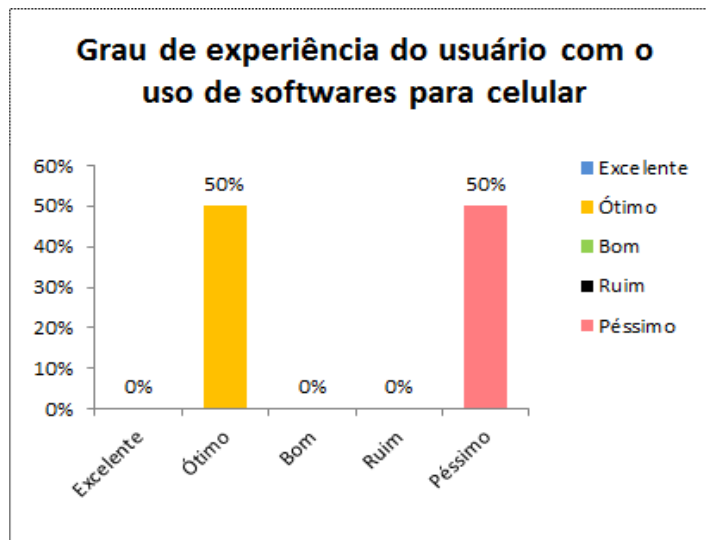
A Figura 56 mostra um gráfico de quanto tempo (em anos) os usuários são portadores de cadeiras de rodas.

Figura 56. Gráfico do Tempo em que o Usuário é Portador de Cadeiras de Rodas



Com relação ao grau de experiência com o uso de software para celulares, o resultado é dado pelo gráfico da Figura 57.

Figura 57. Gráfico do Grau de Experiência do Usuário



Após a aplicação do questionário do Anexo A, as cadeirantes utilizaram o sistema de navegação no ambiente interno do Bloco 1E da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Para estes experimentos, o CAD do edifício do Bloco 1E (Figura 28) foi inserido no sistema e as posições dos *beacons* no mapa (Figura 58) foram registradas no aplicativo.

Figura 58. Percurso da Navegação com Beacons no Bloco 1E



Foi selecionado um percurso (linha tracejada da Figura 58) partindo da entrada principal do Bloco1E, como sendo o ponto de origem, até o laboratório de Engenharia Biomédica (BioLab), como sendo o ponto de interesse (chegada).

A Figura 59 mostra beacons posicionados no ambiente do Bloco 1E (Figura 59 (a) - W901 iBeacon e Figura 59 (b) - Farol Beacon).

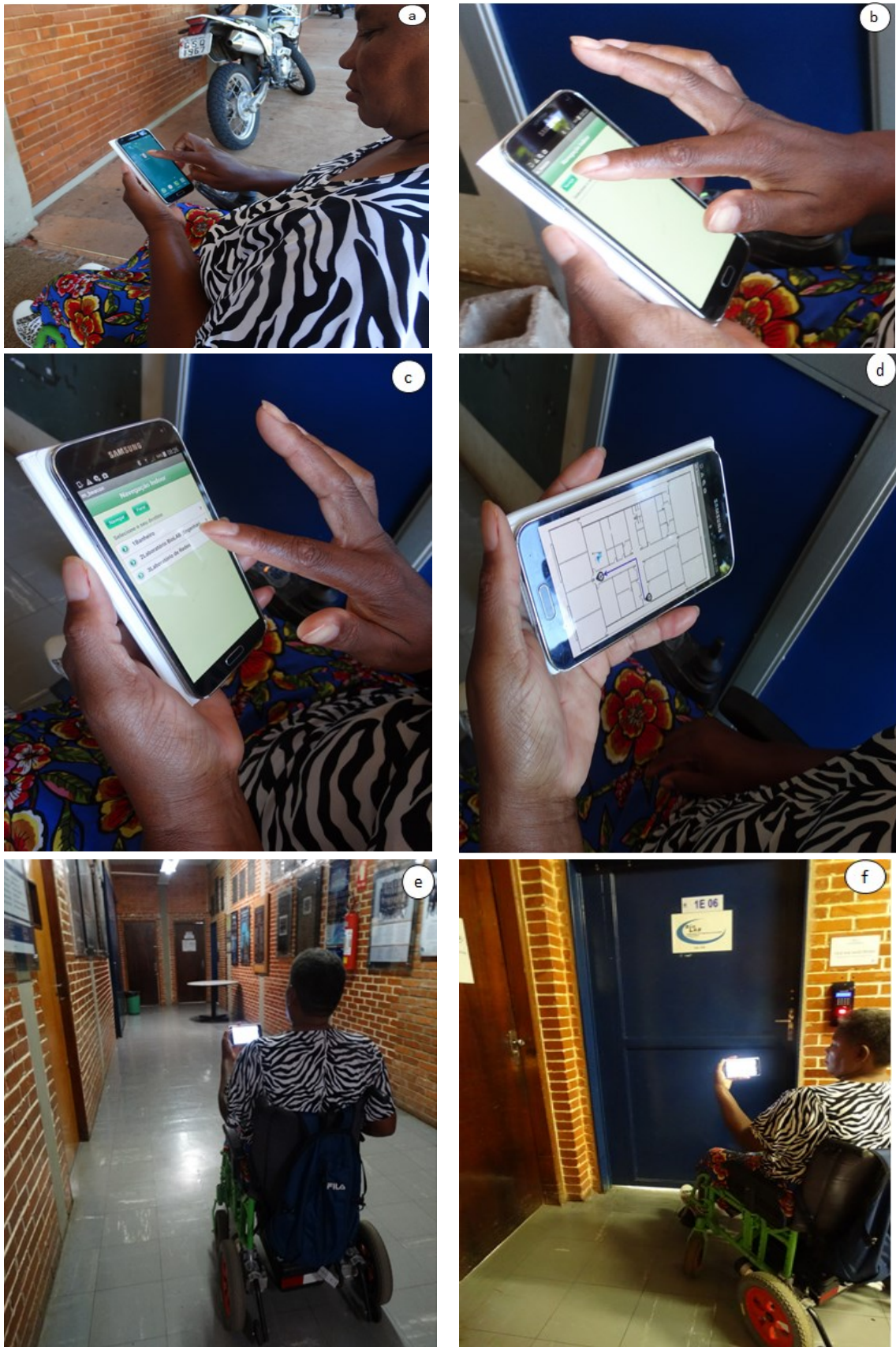
Figura 59. Beacons no ambiente interno do Bloco 1E



A Figura 60 mostra todas as etapas percorridas por uma voluntária cadeirante, portadora de cadeiras rodas do tipo manual e que possui deficiência do tipo paraplégico, no percurso selecionado, que são:

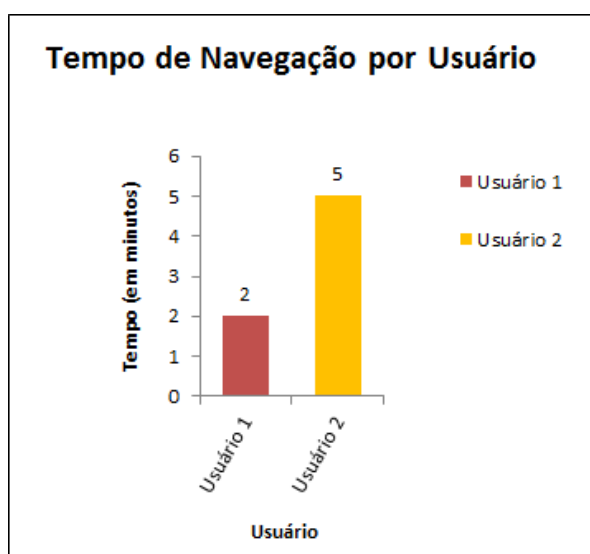
- seleção do sistema no *smartphone* (Figura 60 (a));
- seleção do botão navegar (Figura 60 (b));
- seleção do ponto de interesse que deseja chegar, que é o Laboratório de Engenharia Biomédica (BioLab) (Figura 60 (c));
- início da navegação e visualização do mapa de navegação (Figura 60 (d));
- navegação do usuário nos corredores do Bloco 1E em direção ao seu destino (Figura 60 (e));
- a voluntária chegando no seu local de interesse (Figura 60 (f)).

Figura 60. Etapas de Navegação de um Cadeirante no Bloco 5S



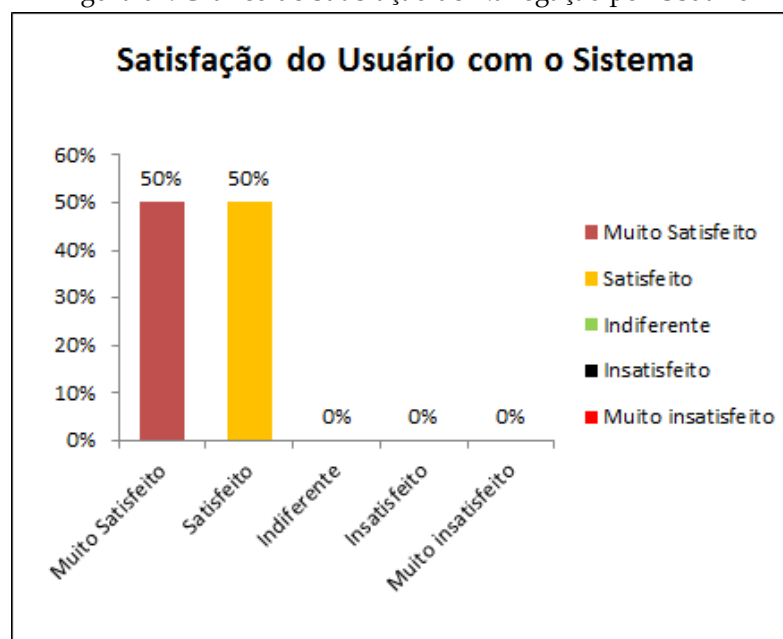
Após a utilização do sistema por parte dos cadeirantes, eles responderam o questionário do Anexo B. O tempo gasto para navegar do ponto de origem (entrada do Bloco 1E) ao ponto de destino (Laboratório BioLab) foi calculado para cada usuário conforme mostra o gráfico da Figura 61. Deve-se considerar que o usuário que gastou o maior tempo (5 minutos) para realizar o percurso foi devido a sua cadeira de rodas ser do tipo manual.

Figura 61. Gráfico de Tempo de Navegação por Usuário na Aplicação com Beacons



Pode-se notar através do gráfico da Figura 62 que o sistema com uso de *beacons* também foi muito bem avaliado quanto a sua satisfação.

Figura 62. Gráfico de Satisfação de Navegação por Usuário



O resultado da avaliação do tempo de resposta do sistema foi 100% satisfeitos com o tempo de processamento, isto é, os usuários disseram que o sistema não teve problemas com relação ao desempenho. Além disso, os participantes novamente disseram que gostariam de ter o software instalado em seus celulares.

Um dos usuários apresentou uma desvantagem que foi o uso de mapas, pois o mesmo não sabia utilizar mapas de navegação.

6.3 Considerações finais

Este capítulo apresentou testes do sistema proposto com cadeirantes da instituição APARU – Associação dos Paraplégicos de Uberlândia, conforme aprovação do projeto pelo Comitê de Ética (Anexo E).

Os testes foram realizados com o aplicativo utilizando marcadores fiduciais de Realidade Aumentada e com o aplicativo utilizando a tecnologia de *Beacons*. Foi realizada uma pergunta de comparação entre as aplicações e 50% dos voluntários preferiram utilizar a aplicação de RA com marcadores, dizendo que preferia usar as “plaquinhas” (marcadores), pois tinha dificuldades de utilizar a visualização com mapas e 50% preferiu a navegação com *beacons*, dizendo que o sistema foi mais fácil de usar, porém a visualização ficaria melhor sendo através de setas utilizando o sistema em RA. Assim, os indivíduos preferiram a visualização da navegação com RA, o que confirma a hipótese de que RA possui potencial para navegação *indoor* de cadeirantes.

Com relação ao aplicativo que utiliza *Beacons*, foram encontradas grandes oscilações nos cálculos das distâncias entre o usuário e os *beacons*. Pôde-se notar também que os *beacons* teve uma duração das baterias em torno de 3 meses, o que é um custo a ser considerado de ter que trocar as baterias de todos os dispositivos em um intervalo pequeno de tempo.

Portanto, a aplicação de navegação *indoor* para cadeirantes permite a precisão e uma navegação com facilidade. Além disso, pode-se verificar que os resultados atendem aos requisitos, permitindo uma navegação adequada.

O próximo capítulo apresenta as conclusões desta pesquisa.

Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo, são apresentadas as considerações finais sobre o uso da navegação *indoor* baseado na Realidade Aumentada Móvel com marcadores e na tecnologia de Beacons para indivíduos que utilizam cadeiras de rodas.

7.1 Conclusões

Neste trabalho, foi proposto um sistema de navegação interior dedicado a usuários de cadeiras de rodas. Um algoritmo que considera obstáculos foi projetado e implementado para identificar as melhores rotas e pontos de interesse. A técnica proposta também trata comandos de voz para fornecer suporte para diferentes usuários.

Foram desenvolvidos dois aplicativos: um aplicativo utilizando marcadores de Realidade Aumentada e um outro protótipo utilizando a tecnologia de *Beacons*, sendo que testes com voluntários cadeirantes foram realizados em dois aplicativos: um utilizando marcadores de RA e outro utilizando a tecnologia de *Beacons*. Para realização dos testes, foi realizado um estudo de caso com a colaboração de seis

voluntários cadeirantes reais da APARU em ambiente fechado dos Blocos 1E e 5S da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Além disso, o sistema desenvolvido utilizou dispositivos móveis para navegação *indoor* com marcadores e comandos de voz para acionar a navegação, sendo um diferencial importante para cadeirantes. Inicialmente, os mapas dos edifícios foram configurados no sistema. O usuário pode selecionar um ponto de interesse pelo toque ou pela voz. Durante o processo de navegação, o aplicativo indica a direção que o usuário deve seguir até seu destino final através de RA ou através de mapas. Como limitações do sistema utilizando marcadores, encontra-se o fato do usuário ter que procurar os marcadores no ambiente.

Nos experimentos realizados, os cadeirantes navegaram dentro de edifícios e encontraram pontos de interesse, conforme o primeiro requisito funcional (RF001). O sistema permitiu mapear e configurar ambientes diferentes e posicionamento dos locais juntamente com a posição dos marcadores espalhados ao longo dos corredores do edifício conforme o requisito RF002. A menor rota livre de obstáculos foi apresentada para o usuário, conforme o requisito RF003. Estas experiências sugerem que a inclusão de marcadores fiduciais, ao longo da rota identificada pelo algoritmo de roteamento, simplifica a navegação interior para usuários de cadeira de rodas. Isso é conseguido através de técnicas de Realidade Aumentada que atualizam dinamicamente as direções de seta, que, por sua vez, são exibidos na tela do *smartphone*, para fornecer guias de navegação (RF004). Finalmente, ao cumprir com o requisito RF005, o sistema fornece comandos por voz que também foram úteis na identificação de pontos de interesses. Este recurso facilita a usabilidade, especialmente para aqueles que apresentam dificuldades na manipulação manual dos *smartphones*.

Acredita-se que o sistema proposto pode ser de grande utilidade para vários indivíduos cadeirantes, ajudando-os com orientação e mobilidade. Esse fato tem o potencial de facilitar a vida desses indivíduos, sem a necessidade de ajuda externa, uma vez que o sistema lhes proporciona maior acessibilidade.

Adicionalmente, neste trabalho, foi mostrado que apesar de ser considerada como um recurso eficaz para facilitar a aprendizagem, a Realidade Aumentada tem

sido pouco explorada pelos pesquisadores, principalmente, para navegação em ambientes internos de cadeirantes (Low Chee, Sebastian *et al.*, 2011; Kouroupetroglou, 2013; Barberis, Bottino *et al.*, 2014; Pajuelo, Perez *et al.*, 2015; Hürst e Vriens, 2016).

Devido à rapidez do ciclo de renovação de tecnologias, muitas vezes, sistemas computacionais ficam obsoletos rapidamente, isso é bastante inconveniente, principalmente, em sistemas de navegação em que após investimento espera-se que o sistema atenda os indivíduos com necessidades especiais por um grande período de tempo, mas quando os mesmos são danificados, a manutenção nem sempre é possível. Muitas vezes os sistemas são integrados ou embarcados, o que dificulta ainda mais manutenção ou substituição de um módulo qualquer. Diante disso, a arquitetura possibilita a comunicação dos sistemas desenvolvidos em tempo real, permitindo ainda a integração de novos módulos ao sistema facilitando a agregar novas tecnologias ou mesmo substituir módulos por outros.

Neste trabalho também foi implementado a visualização de rotas de navegação utilizando a tecnologia *beacons*. Percebe-se que a tecnologia inovadora de *Beacon* permite esta navegação de forma natural para o usuário, sendo um dispositivo pequeno e barato. Porém uma das limitações encontrada no desenvolvimento desta aplicação utilizando *Beacon* foi que existe uma constante oscilação na distância entre o dispositivo e o usuário.

Em resumo, acredita-se que os recursos implementados nas aplicações são capazes de fornecer benefícios significativos para a navegação interna do usuário. De fato, nenhum dos trabalhos mostrados na Tabela 2 abordou o aspecto incorporado nesta proposta que é a necessidade de derivar rotas ótimas considerando a presença de rampas ou escadas e a associação de técnicas de Realidade Aumentada. Além disso, a capacidade de gerar as setas direcionais que acompanham os movimentos dos usuários não é tratada por esta abordagem.

As principais contribuições deste trabalho foram disponibilizar uma solução de baixo custo e acessível, a adaptação no algoritmo *Dijkstra* para considerar

obstáculos, a realização dos testes e *feedback* dos usuários finais e, principalmente, estabelecer a inclusão social dos cadeirantes. Neste contexto, a navegação em recintos fechados com acessibilidade é uma necessidade relevante para o cadeirante.

7.2 Trabalhos Futuros

Os seguintes trabalhos futuros foram identificados, com o intuito de explorar a navegação *indoor* utilizando Realidade Aumentada para cadeirantes, destacando-se:

- (1) desenvolver novos sistemas de navegação utilizando a arquitetura, por exemplo, utilizando outras tecnologias como WIFI e RFID;
- (2) avaliar novos requisitos, como por exemplo, visualização de informações relevantes aos indivíduos cadeirantes utilizando RA ou configurações personalizadas por usuário;
- (3) acoplar o dispositivo móvel (*smartphone*) na cadeira de rodas do usuário;
- (4) implementar a integração de *beacons* com Realidade Aumentada, sendo assim, o recurso de *beacons* pode ser melhor explorado para ajudar usuários de cadeiras de rodas com informações adicionais (como questões de navegação de segurança, saídas de emergência, etc.), quando uma seta de direção fornecida por um marcador fiducial for identificado;
- (5) investigar o problema da oscilação pelo uso de *Beacons*;
- (6) investigar o uso da tecnologia da Holografia para navegação como forma alternativa.

Referências

ADITYA, S. K. **Android Sqlite Essentials**. Shroff Publishers & Distr, 2014. ISBN 9789351108146. Disponível em: <
<https://books.google.com.br/books?id=uEUsjwEACAAJ> >.

AHLUWALIA, P. et al. Ubiquitous, mobile, pervasive and wireless information systems: current research and future directions. **Int. J. Mob. Commun.**, v. 12, n. 2, p. 103-141, 2014. ISSN 1470-949X.

ALM, N. et al. Virtual reality for putting people with disabilities in control. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1998, San Diego, CA. p.1174 - 1179.

ANAGNOSTOPOULOS, C. et al. **OntoNav: a semantic indoor navigation system**. 1st Workshop on Semantics in Mobile Environments in conjunction with 6th ACM SIGMOBILE / SIGMOD International Conference on Mobile Data Management. Agua Napa, Cyprus 2005.

ANDAR. <http://code.google.com/p/andar/>. 2017.

ARTOOLWORKS. ARToolkit for Android. 2014. Disponível em: <
<http://www.artoolworks.com/products/artoolkit-for-mobile/artoolkit-for-android/> >. Acesso em: 26/11/2014.

AZUMA, R.; BILLINGHURST, M.; KLINKER, G. Editorial: Special Section on Mobile Augmented Reality. **Comput. Graph.**, v. 35, n. 4, p. vii-viii, 2011. ISSN 0097-8493.

BARBERIS, C. et al. Experiencing Indoor Navigation on Mobile Devices. **IT Professional**, v. 16, n. 1, p. 50-57, 2014. ISSN 1520-9202.

BLE. Bluetooth Low Energy. 2017. Disponível em: < <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/how-it-works/low-energy> >.

BLENDER. Blender. 2017. Disponível em: < <http://www.blender.org/> >. Acesso em: 02/01/2017.

BLUM, J. R.; BOUCHARD, M.; COOPERSTOCK, J. R. **What's around Me? Spatialized Audio Augmented Reality for Blind Users with a Smartphone**. Springer, 2011. ISBN 978-3-642-30972-4. Disponível em: < <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/mobiquitous/mobiquitous2011.html#BlumBC11> >.

BRAGA, P. H. C.; CARDOSO, A.; JÚNIOR, E. A. L. Desenvolvimento de Gestos Personalizados para Criação e Navegação em Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada associada a Dispositivos Móveis. XIV Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, 2012.

BRASIL. **Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, consolida as normas de proteção, e dá outras providências**. Decreto nº 3.298. Lei nº 7.853 1999.

_____. Subsecretaria Nacional de Promoção dos direitos da pessoa com deficiência - CORDE. 2007. Disponível em: < <http://portal.mj.gov.br/corde> >. Acesso em: 21/11/2013.

BURNETTE, E. **Hello, Android: Introducing Google's Mobile Development Platform**. Pragmatic Bookshelf, 2009. ISBN 9781934356494. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?id=mJRKQQAACAAJ> >.

CANKAYA, I. A. et al. Mobile indoor navigation system in iOS platform using augmented reality. Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2015 9th International Conference on, 2015, 14-16 Oct. 2015. p.281-284.

CARDOSO, A. et al. **Visão Geral de um Framework para Realidade Aumentada em Diferentes Níveis de Abstração.** IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada 2012.

CHAKRABORTY, B.; HASHIMOTO, T. A framework for user aware route selection in pedestrian navigation system. Aware Computing (ISAC), 2010 2nd International Symposium on, 2010, 1-4 Nov. 2010. p.150-153.

CHANG, W.; TAN, Q. **Augmented Reality System Design and Scenario Study for Location-Based Adaptive Mobile Learning.** CSE: IEEE: 20-27 p. 2010.

CHEEIN, F. A. A. et al. Maneuverability Strategy for Assistive Maneuverability Strategy for Assistive Vehicles Navigating within Confined Space. **International Journal of Advanced Robotic Systems**, v. 8, p. 62-75, 2011.

CHIARA, D. D. et al. Augmented Map navigation through Customizable Mobile Interfaces. Proceedings of the 16th International Conference on Distributed Multimedia Systems, 2010, Hyatt Lodge at McDonald s Campus, Oak Brook, Illinois, USA. Knowledge Systems Institute. p.265-270.

COUTINHO, E. A. G.; DUARTE, P. M.; SANTOS, S. R. D. **Developing Android Applications for Augmented Reality** 1. Symposium on Virtual Reality (SVR). Tendências e Técnicas em Realidade Virtual Avançada., 2011.

DE LA CRUZ, C. et al. SLAM-based robotic wheelchair navigation system designed for confined spaces. Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on, 2010, 4-7 July 2010. p.2331-2336.

DE LA CRUZ, C.; CELESTE, W. C.; BASTOS, T. F. A robust navigation system for robotic wheelchairs. **Control Engineering Practice**, v. 19, n. 6, p. 575-590, 2011. ISSN 0967-0661. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967066110002546> >.

Decreto nº 5.296. Brasil 2004.

DEEPESH, P. C. et al. **Experiences with using iBeacons for Indoor Positioning.** Proceedings of the 9th India Software Engineering Conference. Goa, India: ACM: 184-189 p. 2016.

DEFICIÊNCIA. A Deficiência Motora. 2015. Disponível em: < <http://www.deficiencia.no.comunidades.net/index.php?pagina=1001252395> >.

DENNING, P. J.; METCALFE, R. M. **Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing.** Copernicus, 1998. ISBN 9780387985886. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=9P5uwNpP1JAC> >.

DERUWE, G.; WALL, R. Pedestrian navigation and integration with distributed smart signal traffic controls. *Industrial Electronics, 2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE, 2008, 10-13 Nov. 2008.* p.2923-2928.

DONG, J. et al. **iMoon: Using Smartphones for Image-based Indoor Navigation.** Proceedings of the 13th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. Seoul, South Korea: ACM: 85-97 p. 2015.

ECLIPSE. The eclipse foundation open source community website. 2017. Disponível em: < <http://www.eclipse.org/> >. Acesso em: 05/01/2017.

FERREIRA, A. L. S.; SANTOS, S. R. D.; MIRANDA, L. C. D. **Sistema de Navegação para Pedestres Baseado na Detecção e Extração Automática de Landmark em Smartphone Android.** XIV Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada - SRV 2012.

FORNI, A. A. Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage. **Gartner, Inc.**, Stamford, 2016. Disponível em: < <http://www.gartner.com/newsroom/id/3412017> >.

GOLFARELLI, M.; MAIO, D.; RIZZI, S. Correction of dead-reckoning errors in map building for mobile robots. **Robotics and Automation, IEEE Transactions on**, v. 17, n. 1, p. 37-47, 2001. ISSN 1042-296X.

HALLAHAN; KAUFFMAN. **Exceptional Children**. Allyn and Bacon, 1994. ISBN 9780205153121. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=W63VJwSVPTMC> >.

HANSEN, R.; THOMSEN, B. **Using Weighted Graphs for Computationally Efficient WLAN Location Determination**. Proceedings of the 2007 Fourth Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services (MobiQuitous): IEEE Computer Society: 1-5 p. 2007.

HANSEN, S.; FOSSUM, T. V. Refactoring model-view-controller. **J. Comput. Sci. Coll.**, v. 21, n. 1, p. 120-129, 2005. ISSN 1937-4771.

HEMRAJANI, A. **Desenvolvimento ágil em Java com Spring, Hibernate e Eclipse**. Prentice Hall, 2007.

HERVAS, R.; BRAVO, J.; FONTECHA, J. An Assistive Navigation System Based on Augmented Reality and Context Awareness for People With Mild Cognitive Impairments. **Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of**, v. 18, n. 1, p. 368-374, 2014. ISSN 2168-2194.

HUB, A. **Precise Indoor and Outdoor Navigation for the Blind and Visually Impaired Using Augmented Maps and the TANIA System**. Canada: 2008.

HÜRST, W.; VRIENS, K. **Multimodal feedback for finger-based interaction in mobile augmented reality**. Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction. Tokyo, Japan: ACM: 302-306 p. 2016.

IMMERSION, T. D'Fusion Studio. 2014. Disponível em: < <http://www.t-immersion.com/products/dfusion-adobe-flash/dfusion-sdk-adobe-flash> >. Acesso em: 26/11/2014.

IN2AR. Augmented Reality Engine for Web, Mobile and Desktop - In2AR. 2014. Disponível em: < <http://www.in2ar.com/> >. Acesso em: 26/11/2014.

JIANG, J. R. et al. Extending Dijkstra's shortest path algorithm for software defined networking. The 16th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium, 2014, 17-19 Sept. 2014. p.1-4.

JIMÉNEZ, A. R. et al. Improved Heuristic Drift Elimination (iHDE) for pedestrian navigation in complex buildings. 2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 2011, 21-23 Sept. 2011. p.1-8.

JR, G. D. P. S. et al. **Aplicação Multiplataforma da Realidade Aumentada Móvel para Geolocalização utilizando o PhoneGap**. IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada 2012.

JR, G. D. P. S. et al. **Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada**. 2013.

JU, J. S.; SHIN, Y.; KIM, E. Y. **Vision based interface system for hands free control of an Intelligent Wheelchair**. 2009. 33 ISBN 1743-0003. Disponível em: < <http://www.biomedsearch.com/nih/Vision-based-interface-system-hands/19660132.html> >.

JUZOJI, H.; NAKAJIMA, I.; KITANO, T. A Development of Network Topology of Wireless Packet Communications for Disaster Situation with Genetic Algorithms or

with Dijkstra's. 2011 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2011, 5-9 June 2011. p.1-5.

KALKUSCH, M. et al. Structured visual markers for indoor pathfinding. Augmented Reality Toolkit, The First IEEE International Workshop, 2002, 2002. p.8 pp.

KASANTIKUL, K. et al. An enhanced technique for indoor navigation system based on WIFI-RSSI. 2015 Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks, 2015, 7-10 July 2015. p.513-518.

KINDBORG, M. How to develop beacon apps in JavaScript with Evothings Studio and Estimote 2015. Disponível em: < <https://evothings.com/how-to-develop-beacon-apps-in-javascript-with-evothings-studio-and-estimote/> >.

KLEINBERG, J.; SLIVKINS, A.; WEXLER, T. Triangulation and embedding using small sets of beacons. **J. ACM**, v. 56, n. 6, p. 1-37, 2009. ISSN 0004-5411.

KOCH, C. et al. Natural markers for augmented reality-based indoor navigation and facility maintenance. **Automation in Construction**, v. 48, p. 18-30, 2014. ISSN 0926-5805. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580514001885> >.

KOTSAKOS, D. et al. **Using smart mobile devices for monitoring in assistive environments**. Proceedings of the 6th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments. Rhodes, Greece: ACM: 1-4 p. 2013.

KOUROUPETROGLOU, G. **Disability Informatics and Web Accessibility for Motor Limitations**. IGI Global, 2013. ISBN 9781466644427. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=CUWzmwEACAAJ> >.

LECHETA, R. R. **Google Android - Aprenda a criar aplicações: para dispositivos móveis com Android SDK**. NOVATEC, 2010. ISBN 9788575221860. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=awc81UcryC8C> >.

LI, Y. H. et al. Near Real Time Heading Drift Correction for indoor pedestrian tracking based on sequence detection. 2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2016, 4-7 Oct. 2016. p.1-4.

LIU, J.; JAIN, R. Survey of Wireless Based Indoor Localization Technologies. 2014. Disponível em: < <http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-14/ftp/indoor/index.html> >.

LLERER, T. H. et al. Exploring MARS: Developing Indoor and Outdoor User Interfaces to a Mobile Augmented Reality System. **Computers and Graphics**, v. 23, n. 6, p. 779-785, 1999.

LOKUGE, Y. et al. Indoor Navigation Framework for Mapping and Localization of Multiple Robotic Wheelchairs. Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS), 2014 5th International Conference on, 2014, 27-29 Jan. 2014. p.197-200.

LOW CHEE, H.; SEBASTIAN, P.; DRIEBERG, M. Augmented reality based indoor positioning navigation tool. Open Systems (ICOS), 2011 IEEE Conference on, 2011, 25-28 Sept. 2011. p.256-260.

MAGHDID, H. S. et al. Seamless Outdoors-Indoors Localization Solutions on Smartphones: Implementation and Challenges. **ACM Comput. Surv.**, v. 48, n. 4, p. 1-34, 2016. ISSN 0360-0300.

MAIA, L. F.; VIANA, W.; TRINTA, F. **A real-time x-ray mobile application using augmented reality and google street view.** Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology. Munich, Germany: ACM: 111-119 p. 2016.

MALATHI, M. Cloud computing concepts. Electronics Computer Technology (ICECT), 2011 3rd International Conference on, 2011, 8-10 April 2011. p.236-239.

MAROUANE, C. et al. Step and activity detection based on the orientation and scale attributes of the SURF algorithm. 2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2016, 4-7 Oct. 2016. p.1-8.

MARSTON, J. R. et al. Evaluation of spatial displays for navigation without sight. **ACM Trans. Appl. Percept.**, v. 3, n. 2, p. 110-124, 2006. ISSN 1544-3558.

MEDEIROS, E. S. **Desenvolvendo software com UML 2.0: definitivo**. Pearson Makron Books, 2004. ISBN 9788534615297. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=Y3ccMwAACAAJ> >.

MEIGUINS, B. S. et al. **Multidimensional information visualization using augmented reality**. VRCIA. SUN, H.: ACM: 391-394 p. 2006.

MENVIA. Farol BLE - Bluetooth Low Energy technology. 2017. Disponível em: < <http://www.farol.me> >. Acesso em: 04/05/2016.

MIRZA, R.; TEHSEEN, A.; KUMAR, A. V. J. An indoor navigation approach to aid the physically disabled people. Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET), 2012 International Conference on, 2012, 21-22 March 2012. p.979-983.

MONEY, A. H.; BABIN, B.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de Metodos de Pesquisa Em Administraca**. BOOKMAN COMPANHIA ED, 2005. ISBN 9788536304496. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=ShRikXSqrKsC> >.

MOON-SUB, J.; JONG-IL, P. Interactive Mobile Augmented Reality system using a vibro-tactile pad. VR Innovation (ISVRI), 2011 IEEE International Symposium on, 2011, 19-20 March 2011. p.329-330.

MOOSER, J. et al. An Augmented Reality Interface for Mobile Information Retrieval. Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference on, 2007, 2-5 July 2007. p.2226-2229.

MORAES, M. C. **Acessibilidade no Brasil: Análise da NBR 9050**. 2007. 175 (Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro Tecnológico). Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Santa Catarina.

MOURA, G. H. D. O. et al. Adapting a regular office chair for people with limited mobility. 2015 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference (IHTC2015), 2015, May 31 2015-June 4 2015. p.1-4.

MULLONI, A. et al. **Experiences with the Impact of Tracking Technology in Mobile Augmented Reality**. MobileHCI MobiVis 2012.

N., C.; M., M. **Speech Technology: A Solution for People with Disabilities**. IEE Seminar on Speech and Language Processing for Disabled and Elderly People. London, UK 2000.

NEGES, M. et al. Combining visual natural markers and IMU for improved AR based indoor navigation. **Advanced Engineering Informatics**, 2015. ISSN 1474-0346. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034615001081> >.

NEWMAN, J. et al. **Ubiquitous Tracking for Augmented Reality**. Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality: IEEE Computer Society: 192-201 p. 2004.

ONORATI, T. et al. Modeling an ontology on accessible evacuation routes for emergencies. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 16, p. 7124-7134, 2014. ISSN 0957-4174. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417414003194> >.

OPENGL. OpenGL es 1.1 reference pages. 2017. Disponível em: <
<http://www.khronos.org/opengles/sdk/1.1/docs/man/> >. Acesso em: 05/01/2017.

PAJUELO, P. et al. Implementation of indoor positioning algorithms using Android smartphones. *Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*, 2015 IEEE 20th Conference on, 2015, 8-11 Sept. 2015. p.1-4.

PARK, K.-H. et al. Robotic smart house to assist people with movement disabilities. *Autonomous Robots*, v. 22, 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s10514-006-9012-9> >.

POSLAD, S. **Ubiquitous Computing: Smart Devices, Environments and Interactions**. Wiley, 2009. ISBN 9780470779453. Disponível em: < <http://books.google.com.br/books?id=knfGIltq86kC> >.

POSTOLACHE, O. et al. Pervasive sensing and computing for wheelchairs users health assessment. *Bioengineering (ENBENG)*, 2011. ENBENG 2011. 1st Portuguese Meeting in, 2011, 1-4 March 2011. p.1-4.

PUPPO, D. T.; MELO, A. M.; FERRÉS, S. P. **Acessibilidade: discurso e prática no cotidiano das bibliotecas**. Campinas,SP: UNICAMP/Biblioteca Cesar Lattes Central, 2006. ISBN 85-85783-16-8.

RAN, L.; HELAL, S.; MOORE, S. **Drishti: An Integrated Indoor/Outdoor Blind Navigation System and Service**. Proceedings of the Second IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'04): IEEE Computer Society: 23 p. 2004.

REHMAN, U.; CAO, S. Augmented Reality-Based Indoor Navigation Using Google Glass as a Wearable Head-Mounted Display. *Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2015 IEEE International Conference on, 2015, 9-12 Oct. 2015. p.1452-1457.

REITMAYR, G.; SCHMALSTIEG, D. **Location based applications for mobile augmented reality**. Proceedings of the Fourth Australasian user interface conference on User interfaces 2003 - Volume 18. Adelaide, Australia: Australian Computer Society, Inc.: 65-73 p. 2003.

ROVADOSKY, D. S. et al. Uma Ferramenta de Realidade Aumentada Usando Dispositivo Móvel com Sistema Operacional Android. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 4, p. 25-37, 2012.

RUI, Z. et al. Control of a Wheelchair in an Indoor Environment Based on a Brain-Computer Interface and Automated Navigation. **Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on**, v. 24, n. 1, p. 128-139, 2016. ISSN 1534-4320.

RUTA, M. et al. Indoor/Outdoor Mobile Navigation via Knowledge-Based POI Discovery in Augmented Reality. *Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2015 IEEE / WIC / ACM International Conference on*, 2015, 6-9 Dec. 2015. p.26-30.

SANCHEZ, J. H.; AGUAYO, F. A.; HASSLER, T. M. Independent Outdoor Mobility for the Blind. *Virtual Rehabilitation*, 2007, 2007, 27-29 Sept. 2007. p.114-120.

SANTAROSA, L. M. C.; CONFORTO, D.; BASSO, L. D. O. Eduquito: ferramentas de autoria e de colaboração acessíveis na perspectiva da web 2.0. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 18, n. 3, 2012. ISSN 1413-6538.

SARTORETTO, L.; BERSH, R. Assistive Technology. 2015. Disponível em: < <http://www.assistiva.com.br/tassistiva.html> >. Acesso em: 09/05/2015.

SCHREDER, G. et al. Supporting Cognition in the Face of Political Data and Discourse: A Mental Models Perspective on Designing Information Visualization Systems. *2016 Conference for E-Democracy and Open Government (CeDEM)*, 2016, 18-20 May 2016. p.213-218.

SHARHAN, S. M. H.; ZICKAU, S. Indoor mapping for location-based policy tooling using Bluetooth Low Energy beacons. *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 2015 IEEE 11th International Conference on, 2015, 19-21 Oct. 2015. p.28-36.

SILVA, A. C. et al. **Detecção de Marcadores Naturais para Realidade Aumentada Móvel utilizando Redes Neurais Artificiais**. IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada. Paranavaí, PR. 2012.

SINYUKOV, D. A. et al. Augmenting a voice and facial expression control of a robotic wheelchair with assistive navigation. *Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 2014 IEEE International Conference on, 2014, 5-8 Oct. 2014. p.1088-1094.

SMITHWICK, M.; VERMA, M. **Pro OpenGL ES for Android**. Apress, 2012. ISBN 9781430240037. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?id=S7cGHKzarzMC> >.

STATISTA. Number of mobile phone users worldwide from 2013 to 2019 (in billions). 2017. Disponível em: < <https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/> >.

STEFANOV, D. H.; BIEN, Z.; BANG, W.-C. The Smart House for Older Persons and Persons With Physical Disabilities: Structure, Technology Arrangements, and Perspectives. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2004. p.228 -250.

SURAKUL, K.; SMANCHAT, S. An accident detection technique using inertial measurement unit and odometry. 2016 13th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), 2016, 13-15 July 2016. p.1-5.

TAKAHASHI, C.; KONDO, K. Indoor positioning method for augmented audio reality navigation systems using iBeacons. *Consumer Electronics (GCCE)*, 2015 IEEE 4th Global Conference on, 2015, 27-30 Oct. 2015. p.451-452.

TECHNOLOGIES, D. Unifeye Plataforma - Metaio Software Suite. 2014. Disponível em: < http://www.dante-tech.com/unifeye_platform.php >. Acesso em: 26/11/2014.

TERRA, R. et al. **Step count algorithm adapted to indoor localization**. Proceedings of the International C* Conference on Computer Science and Software Engineering. Porto, Portugal: ACM: 128-129 p. 2013.

TSETSOS, V. et al. Semantically enriched navigation for indoor environments. **International Journal of Web and Grid Services (IJWGS)**, v. 2, n. 4, p. 453-478, 2006. ISSN 1741-1106.

TSETSOS, V. et al. **A human-centered semantic navigation system for indoor environments**. Pervasive Services, 2005. ICPS '05. Proceedings. International Conference on In Pervasive Services: 146-155 p. 2005.

W3C. Site Oficial do Web Content Accessibility Working Group. 2015. Disponível em: < www.w3.org/WAI/GL/ >.

WELLCORE. Shenzhen Wellcore Technology Co. 2017. Disponível em: < <http://www.wellcoressd.com> >. Acesso em: 04/05/2016.

WOODILL, G. **The Mobile Learning Edge: Tools and Technologies for Developing Your Teams**. McGraw-Hill Education, 2010. ISBN 9780071739849. Disponível em: < <http://books.google.co.nz/books?id=65bKPeCNaTEC> >.

XIAO, J. et al. A Survey on Wireless Indoor Localization from the Device Perspective. **ACM Comput. Surv.**, v. 49, n. 2, p. 1-31, 2016. ISSN 0360-0300.

XING, L.; ALPCAN, T.; BAUCKHAGE, C. Adaptive wireless services for augmented environments. Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, MobiQuitous, 2009. MobiQuitous '09. 6th Annual International, 2009, 13-16 July 2009. p.1-8.

YAYAN, U. et al. Development of indoor navigation software for intelligent wheelchair. Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2014 22nd, 2014, 23-25 April 2014. p.405-408.

YOHAN, C.; TALIPOV, E.; HOJUNG, C. Autonomous Management of Everyday Places for a Personalized Location Provider. **Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on**, v. 42, n. 4, p. 518-531, 2012. ISSN 1094-6977.

ZHANG, R. et al. Control of a Wheelchair in an Indoor Environment Based on a Brain-Computer Interface and Automated Navigation. **Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on**, v. 24, n. 1, p. 128-139, 2016. ISSN 1534-4320.

ZHOU, F.; DUH, H. B.-L.; BILLINGHURST, M. **Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR.** Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality: IEEE Computer Society: 193-202 p. 2008.

Anexo A

Questionário para Avaliação do Perfil do Indivíduo

1 - Dados do Cadeirante

1.1 Nome: _____

1.2. Sexo: () masculino () feminino

1.3. Idade:

1.4. Escolaridade máxima:

() Ensino Fundamental (1ª até 8ª série)

() Ensino Médio (1º até 3º ano)

() Ensino Técnico

() Curso Superior

() Pós-Graduação

1.5. Tipo de deficiência:

() monoplegia: paralisia em um membro do corpo;

() hemiplegia: paralisia na metade do corpo;

() paraplegia: paralisia da cintura para baixo;

() tetraplegia: paralisia do pescoço para baixo;

() amputado: falta de um membro do corpo.

() paralisia cerebral: lesão de uma ou mais áreas do sistema nervoso central.

1.6. Quanto tempo de deficiência:

2. Perfil do Indivíduo

2.1. Qual o seu grau de experiência com o uso de tecnologia e computadores ?

Excelente Ótimo Bom Ruim Péssimo

2.2. Qual o seu grau de experiência com uso de softwares para celulares ?

Excelente Ótimo Bom Ruim Péssimo

2.2. Você conhece Realidade Aumentada ?

Sim Não

2.3 A pessoa possui quais limitações ou dificuldades para locomoção ?

Anexo B

Questionário para Avaliação do Sistema

1. O sistema atendeu as necessidades de navegação?
 Excelente Ótimo Bom Ruim Péssimo
2. O sistema faz o que foi proposto de forma correta?
 Excelente Ótimo Bom Ruim Péssimo
3. Como foi aprender a usar o sistema?
 Muito Fácil Fácil Mais ou menos Difícil Muito difícil
4. Conseguiu utilizar o sistema com facilidade ?
 Muito Fácil Fácil Mais ou menos Difícil Muito difícil
5. Como foi operar e controlar a operação?
 Muito Fácil Fácil Mais ou menos Difícil Muito difícil
6. Como foi o tempo de processamento (tempo de resposta) ?
 Muito Rápido Rápido Mais ou menos Lento Muito Lento
7. As mensagens do sistema foram adequadas ?
 Muito Adequadas Adequadas Indiferente Inadequadas Muito Inadequadas
8. O sistema mostrou o melhor caminho de acesso e rotas acessíveis ?
 Excelente Ótimo Bom Ruim Péssimo
9. O sistema mostrou informações importantes?
 Excelente Ótimo Bom Ruim Péssimo
10. Como você avalia a interface gráfica do sistema?
 Excelente Ótimo Bom Ruim Péssimo
11. Sentido mais utilizado no sistema ?
 Acústico (Voz) Tátil Visual
12. Você ficou satisfeito com as funcionalidades do sistema?
 Muito Satisfeito Satisfeito Indiferente Insatisfeito Muito insatisfeito
13. Tempo gasto: (preenchido pelo sistema)
14. Percentual de Erro da Rota: (preenchido pelo sistema)
15. Vantagens do sistema:

16. Desvantagens o sistema e dificuldades ao usar o sistema:

17. Observações / Sugestões:

Anexo C

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) para participar da pesquisa intitulada “**Uso de Navegação Indoor Baseado em Realidade Aumentada Móvel para Indivíduos com Deficiência Física**”, sob a responsabilidade dos pesquisadores **Luciene Chagas de Oliveira, Edgard Afonso Lamounier Júnior, Alexandre Cardoso e Adriano Oliveira Andrade**.

Nesta pesquisa temos a intenção de investigar e testar um programa de computador desenvolvido para um celular ou *tablet*, cujo objetivo é guiar pessoas com necessidades especiais de deficiência física, que apresentam dificuldades de mobilidade, a localizarem o menor ou o melhor caminho para chegar ao seu destino. O melhor caminho pode-se referir ao caminho mais curto ou um caminho mais fácil, por exemplo, um caminho sem escadas, ou um caminho que passa por rebaixamentos de calçadas ou acesso a cadeirantes, isto é, o caminho que passa por pontos de interesse do usuário. O programa é um navegador de Realidade Aumentada em um dispositivo móvel para ambientes fechados ou internos como, por exemplo, em um hospital ou em um *shopping*, para auxiliar os indivíduos a encontrar um banheiro para cadeirantes ou um elevador (navegação *indoor*), e também para ambientes abertos, como nas ruas de uma cidade, cujas pessoas teriam acesso aos rebaixamentos para cadeirantes nas calçadas para facilitar a locomoção dos mesmos (navegação *outdoor*).

O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido será obtido pela pesquisadora **Luciene Chagas de Oliveira na APARU – Associação os Paraplégicos de Uberlândia**.

Na sua participação você terá apenas que utilizar o programa desenvolvido para um dispositivo móvel e responder aos questionários referentes à avaliação do projeto.

Em nenhum momento você será identificado. Os resultados da pesquisa serão publicados e ainda assim sua identidade será preservada.

Você não terá nenhum gasto ou ganho financeiro para participar da pesquisa.

O risco que a pesquisa oferece é de ter a sua identidade revelada, sem a sua autorização. Contudo, de acordo com o proposto neste termo, em nenhum momento você será identificado.

Esta pesquisa trará benefícios tanto para as pessoas que ajudam os cadeirantes quanto para indivíduos com deficiência física que conseguem se locomover sozinhos, pois a ferramenta desenvolvida servirá de apoio a navegação em ambientes externos e internos, despertando

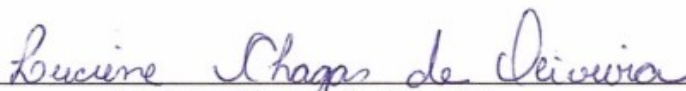
uma maior motivação de encontrar o acesso ao destino final, com maior facilidade e menor tempo, por parte das pessoas com deficiência física.

Você é livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo ou coação, sendo-lhe devolvida, desconsiderada ou destruída toda a fonte material que antes fornecera.

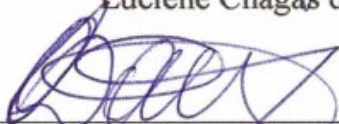
Uma via original deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ficará com você.

Qualquer dúvida a respeito da pesquisa, você poderá entrar em contato com: Luciene Chagas de Oliveira, Edgard Afonso Lamounier Júnior, Alexandre Cardoso ou Adriano Oliveira Andrade - Universidade Federal de Uberlândia: Av. João Naves De Ávila, 2160 - Bloco "3N", Campus Santa Mônica - Uberlândia, MG - Telefone: (34) 3239-4276. Poderá também entrar em contato com o Comitê de Ética na Pesquisa com Seres-Humanos – Universidade Federal de Uberlândia: Av. João Naves de Ávila, nº 2121, bloco A, sala 224, Campus Santa Mônica – Uberlândia –MG, CEP: 38408-100; fone: (34) 3239-4131.


Uberlândia, dede 20.....



Luciene Chagas de Oliveira



Edgard Afonso Lamounier Júnior



Alexandre Cardoso



Adriano Oliveira Andrade

Eu aceito participar do projeto citado acima, voluntariamente, após ter sido devidamente esclarecido.

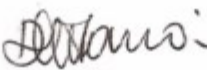
Participante da pesquisa

Anexo D


DECLARAÇÃO DA INSTITUIÇÃO CO-PARTICIPANTE

Declaro estar ciente que o Projeto de Pesquisa “**Uso de Navegação Indoor Baseado em Realidade Aumentada Móvel para Indivíduos com Deficiência Física**” será avaliado por um Comitê de Ética em Pesquisa e concordar com o parecer ético emitido por este CEP, conhecer e cumprir as Resoluções Éticas Brasileiras, em especial a Resolução CNS 466/12. Esta Instituição está ciente de suas co-responsabilidades como instituição co-participante do presente projeto de pesquisa, e de seu compromisso no resguardo da segurança e bem-estar dos sujeitos de pesquisa nela recrutados, dispondo de infra-estrutura necessária para a garantia de tal segurança e bem-estar.

Autorizo os(as) pesquisadores(as) Luciene Chagas de Oliveira, Edgard Afonso Lamounier Júnior, Alexandre Cardoso, Adriano Oliveira Andrade realizarem a(s) etapa(s) de investigação e testes de um sistema de tecnologia assistiva para navegação em ambientes internos e externos utilizando dispositivos móveis com o intuito de facilitar o acesso ao destino final para pessoas com deficiência física utilizando-se da infra-estrutura desta Instituição.



Denise Resende Faria
Assistente Social e Coordenadora da APARU
APARU – Associação dos Paraplégicos de Uberlândia
30/07/14



Carimbo da responsabilidade pela Instituição

Anexo E




Documento de aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa

A proposta do projeto foi aceita em 28/10/2014.

Dados do Projeto de Pesquisa
Título da Pesquisa: USO DE NAVEGAÇÃO INDOOR BASEADO EM REALIDADE AUMENTADA MÓVEL PARA INDIVÍDUOS COM DEFICIÊNCIA FÍSICA
Pesquisador: Edgard Afonso Lamounier Júnior
Área Temática:
Versão: 1
CAAE: 37874014.0.0000.5152
Submetido em: 23/10/2014
Instituição Proponente: Universidade Federal de Uberlândia/ UFU/ MG
Situação: Em Apreciação Ética
Localização atual do Projeto: Universidade Federal de Uberlândia/MG
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

Tramitação:				
CEP Trâmite	Situação	Data Trâmite	Parecer	Informações
Universidade Federal de Uberlândia/MG	Submetido para avaliação do CEP	05/08/2014		
Universidade Federal de Uberlândia/MG	Aceitação do PP	28/10/2014		

O projeto foi aprovado pelo comitê de ética em 23/02/2015.

Projeto de Pesquisa:							
Tipo	Número CAAE	Título da Pesquisa	Pesquisador Responsável	Versão	Última Modificação	Situação	Gestão da Pesquisa
P	37874014.0.0000.5152	USO DE NAVEGAÇÃO INDOOR BASEADO EM REALIDADE AUMENTADA MÓVEL PARA INDIVÍDUOS COM DEFICIÊNC(...)	Edgard Afonso Lamounier Júnior	1	23/02/2015	Aprovado	  

Tramitação:				
CEP Trâmite	Situação	Data Trâmite	Parecer	Informações
Universidade Federal de Uberlândia/MG	Submetido para avaliação do CEP	05/08/2014		
Universidade Federal de Uberlândia/MG	Aceitação do PP	28/10/2014		
Universidade Federal de Uberlândia/MG	Parecer liberado	23/02/2015		

Anexo F

Outras publicações aceitas durante a execução deste trabalho:

Trabalhos completos publicados em Anais de Congressos

- GOMES, T. C. F.; OLIVEIRA, L. C. **Tecnologia Assistiva para Reabilitação de Cadeirantes utilizando Kinect**. In: XII Encontro Anual de Computação - ENACOMP, 2015, Catalão-GO. XII Encontro Anual de Computação - ENACOMP, 2015.
- FERNANDES, F. G. ; CARDOSO, A. ; OLIVEIRA, L. C. **Realidade Virtual Aplicada em Reabilitação Fisioterapêutica Utilizando Kinect**. In: XVII Simpósio de Realidade Virtual e Realidade Aumentada - SVR, 2015, São Paulo - SP. XVII Simpósio de Realidade Virtual e Realidade Aumentada - SVR, 2015.
- FERNANDES, F. G. ; CARDOSO, A. ; OLIVEIRA, L. C. **Serious Game para apoio à Fisioterapia utilizando Realidade Virtual e Kinect**. In: VIII Simpósio em Engenharia Biomédica (SEB), 2015, Uberlândia. VIII Simpósio em Engenharia Biomédica (SEB), 2015.
- GOMES, T. C. F. ; OLIVEIRA, L. C. . **Tecnologia assistiva aplicada no desenvolvimento de um jogo para reabilitação de indivíduos com deficiência física**. In: XIII CEEL - Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2015, Uberlândia. XIII CEEL - Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2015.
- FERNANDES, F. G. ; OLIVEIRA, L. C. ; RODRIGUES, M. L. ; VITA, S. S. B. V. ; BARBOSA, A. J. ; MOURA, C. C. O. **Aplicação utilizando Realidade Aumentada para Dispositivos Móveis que auxilia a Comunicação de**

Crianças com Deficiência na Fala. In: X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013, Jataí - GO. X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013.

- FERNANDES, F. G. ; OLIVEIRA, L. C. ; RODRIGUES, M. L. ; SANTOS, S. C. ; VITA, S. S. B. V. **Sistema para Realização de Exercícios Fisioterapêuticos utilizando Realidade Virtual e Aumentada por meio de Kinect e Dispositivos Móveis.** In: XI Encontro Anual de Computação - EnAComp, 2014, Catalão. XI Encontro Anual de Computação - ENACOMP, 2014.
- FERNANDES, F. G. ; OLIVEIRA, L. C. ; SANTOS, S. C. ; RODRIGUES, M. L. ; VITA, S. S. B. V. **Realidade Virtual e Aumentada Aplicada em Reabilitação Fisioterapêutica Utilizando o Sensor Kinect e Dispositivos Móveis.** In: XII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica - CEEL, 2014, Uberlândia. XII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica - CEEL, 2014.
- FERNANDES, F. G. ; SANTOS, S. C. ; RODRIGUES, M. L. ; OLIVEIRA, L. C. ; VITA, S. S. B. V. **Aplicação da Realidade Virtual e Aumentada em Exercícios de Fisioterapia Utilizando Kinect e Dispositivos Móveis.** In: XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica - CBEB, 2014, Uberlândia. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica - CBEB, 2014.
- FERNANDES, F. G. ; COTA, W. J. N. ; OLIVEIRA, L. C. ; RODRIGUES, M. L. ; VITA, S. S. B. V. **Inclusão Social Através da Utilização da Realidade Aumentada Móvel Livro Didático Interativo Para Crianças com Síndrome de Down.** In: XI Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2014, Marília-SP. XI Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2014.

- FERNANDES, F. G. ; OLIVEIRA, L. C. ; SANTOS, S. C. ; RODRIGUES, M. L. ; VITA, S. S. B. V. **Sistema Para Auxílio na Alfabetização de Crianças com Autismo Utilizando Realidade Aumentada para Dispositivos Móveis.** In: XII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica - CEEL, 2014, Uberlândia. XII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica - CEEL, 2014.
- BORGES, M. S. ; FERNANDES, F. G. ; RODRIGUES, M. L. ; OLIVEIRA, L. C. . **Realidade Aumentada no Desenvolvimento de uma Aplicação para Dispositivos Móveis como Estratégia na Área da Educação.** In: X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013, Jataí - GO. X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013.
- OLIVEIRA, E. C. ; OLIVEIRA, L. C. ; CARDOSO, A. ; LAMOUNIER, E. A. . **Manipulação de Objetos Virtuais detectados em Marcadores para Realidade Aumentada utilizando Reconhecimento de Voz.** In: X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013, Jataí - GO. X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013.
- PAIVA, L. R. M.; FERNANDES, F. G.; BARBOSA, A. J.; MOURA, C. C. O.; OLIVEIRA, L. C.; RODRIGUES, M. L. **Aplicação para Dispositivos Móveis utilizando Tecnologias Interativas: A Realidade Virtual e Aumentada aplicação ao Estudo da Anatomia Humana.** In: X ENACOMP – Encontro Anual de Computação, 2013, Catalão – GO. *Anais do X ENACOMP – Encontro Anual de Computação*, 2013.
- FERNANDES, F. G. ; OLIVEIRA, L. C. ; RODRIGUES, M. L. ; VITA, S. S. B. V. ; BARBOSA, A. J. ; MOURA, C. C. O. **Aplicação utilizando Realidade Aumentada para Dispositivos Móveis que auxilia a Comunicação de Crianças com Deficiência na Fala.** In: X Workshop de Realidade Virtual e

Aumentada, 2013, Jataí - GO. X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013.

- BORGES, M. S. ; FERNANDES, F. G. ; RODRIGUES, M. L. ; OLIVEIRA, L. C. **Realidade Aumentada no Desenvolvimento de uma Aplicação para Dispositivos Móveis como Estratégia na Área da Educação.** In: X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013, Jataí - GO. X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013.
- SANTOS JUNIOR, G. P. ; GODOY, R. ; OLIVEIRA, L. C. ; LAMOUNIER, E. A. ; CARDOSO, A. . **A Method for Multi Platform Mobile Augmented Reality Application for Geolocation using PhoneGap.** In: X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013, Jataí - GO. X Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2013.
- SANTOS JR, G. P.; OLIVEIRA, L. C., CARDOSO A.; LAMOUNIER JR., E. A. **Aplicação Multiplataforma da Realidade Aumentada Móvel para Geolocalização utilizando o PhoneGap.** In: *WRVA 2012 - IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, 2012, Paranavaí - PR, Brasil., *Anais do IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, 2012.
- SILVA, A. C.; SOUZA, L. C. O; OLIVEIRA, L. C., CARDOSO A.; LAMOUNIER E. A. **Detecção de Marcadores Naturais para Realidade Aumentada Móvel utilizando Redes Neurais Artificiais.** In: *WRVA 2012 - IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, 2012, Paranavaí - PR, Brasil., *Anais do IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, 2012.
- SILVA, A. C.; SOUZA, L. C. O; OLIVEIRA, L. C., CARDOSO A.; LAMOUNIER E. A. **Uso da Realidade Virtual e Interação Natural para Manipulação de Objetos Virtuais: Um Stand Virtual Automobilístico.** In:

WRVA 2012 - IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2012, Paranavaí - PR, Brasil., Anais do IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2012.

- OLIVEIRA, L. C., BARRETO JUNIOR, C. L., SILVA, L. O. T., SILVA, R. W. A.. **Aplicação Da Realidade Aumentada para Automação de um Braço Robótico através do Reconhecimento Gestual utilizando Kinect.** In: *X Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica - X CEEL, 2012. Uberlândia - MG. ISSN 2178-8308.*
- FERNANDES, F. G., OLIVEIRA, L. C., PAIVA, L. R. M., RODRIGUES, M. L. A. **Tecnologia da Informação Aplicada à área da Saúde: Investigação de Métodos, Técnicas e Aplicações sobre Realidade Virtual e Aumentada.** In: *IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia - SEGeT. 2012, Rio de Janeiro - RJ.*
- CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. A; KIRNER, C; OLIVEIRA L. C; MARQUES, L; LOPES, A. R. **Visão Geral de um Framework para Realidade Aumentada em Diferentes Níveis de Abstração.** In: *WRVA 2012 - IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2012, Paranavaí - PR, Brasil., Anais do IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2012.*

Apresentação de Trabalhos

- GOMES, T. C. F. ; OLIVEIRA, L. C. **Desenvolvimento de Aplicação de Automação e Robótica utilizando a Tecnologia Assistiva voltada para atletismo para indivíduos com necessidades especiais.** XVI Seminário de Iniciação Científica (SEMIC), Universidade de Uberaba, 2015.
- FERNANDES, F. G., OLIVEIRA, L. C. **Desenvolvimento de Sistema de Realidade Aumentada Utilizando a Tecnologia Móvel Aplicada na Área**

da Saúde e Medicina, XV Seminário de Iniciação Científica (SEMIC), Universidade de Uberaba, 2014.

- **SILVA, L. O. T. ; OLIVEIRA, L. C. Desenvolvimento de sistema de realidade aumentada utilizando interação natural por meio de reconhecimento de gestos aplicada nas áreas de visualização da informação e marketing.** Seminário de Iniciação Científica, Universidade de Uberaba, 2014.