



SENSORIAMENTO DE MULTIDÕES DE PESSOAS E COISAS ATRAVÉS DE
EVIDÊNCIAS DEIXADAS NO MEIO SEM FIO

Luiz Felipe Silva Oliveira

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação.

Orientador: Jano Moreira de Souza

Rio de Janeiro
Setembro de 2019

SENSORIAMENTO DE MULTIDÕES DE PESSOAS E COISAS ATRAVÉS DE
EVIDÊNCIAS DEIXADAS NO MEIO SEM FIO

Luiz Felipe Silva Oliveira

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Examinada por:

Prof. Jano Moreira de Souza, Ph.D.

Prof. Geraldo Bonorino Xexéo, D.Sc.

Prof.^a Flávia Maria Santoro, D.Sc.

Prof.^a Adriana Santarosa Vivacqua, D.Sc.

Prof. José Viterbo Filho, D.Sc.

Prof. Célio Vinicius Neves de Albuquerque, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2019

Oliveira, Luiz Felipe Silva

Sensoriamento de Multidões de Pessoas e Coisas através de Evidências Deixadas no Meio Sem Fio/ Luiz Felipe Silva Oliveira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XII, 159 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jano Moreira de Souza

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 124-132.

1. Detecção de presença. 2. Internet das Coisas. 3. *Crowdsensing*. I. Souza, Jano Moreira de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. III. Título.

Agradecimentos

A Deus, que é o autor e consumidor da minha fé, que me criou, salvou, capacitou e tem cuidado de mim.

A minha mãe, Hosana Vieira, que é a minha principal inspiração, exemplo de motivação e de entrega total para que eu pudesse alcançar mais essa conquista.

Aos meus irmãos Marcos Vinicius e Mariana que me proporcionam excelentes momentos de discussão sadia e diversão.

Ao meu professor e orientador Jano Moreira de Souza, pela confiança, oportunidade, sábias palavras, compreensão e incentivo demonstrados nesses anos de trabalho profícuo.

Ao professor Daniel Schneider pela parceria em publicações durante todo o doutorado e também na revisão desse texto.

Ao professor Weiming Shen pela parceria em publicações.

Ao meu professor e orientador de mestrado Célio Vinicius Neves de Albuquerque por gentilmente ter aceito o convite de compor minha banca de doutorado.

Aos professores Geraldo Xexéo, Flávia Santoro, Adriana Vivacqua e José Viterbo que generosamente aceitaram fazer parte desta banca.

Ao amigo Sergio Assis pelo apoio e incentivo durante os anos de doutorado.

Aos alunos orientados em projetos de iniciação científica que contribuíram com a realização de pesquisas relacionadas a esta tese: Filipe Oliveira, João Henrique e Leonardo Feliciano.

A todos aqueles que participaram de grupos focais e experimentos pela disponibilidade e tempo dedicados. Em especial os colegas Gilda Esteves, Carlos Eduardo Barbosa, Marcio Antelio, Glaucia Melo, Valeria Martins, Matheus Emerick, Viviane Costa e Yuri Lima.

Aos funcionários do PESC, em especial à Patrícia Leal, Ana Paula Rabello, Ricardo César, Solange Santos, Cláudia Prata e Maria Mercedes pelo apoio prestado.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

SENSORIAMENTO DE MULTIDÕES DE PESSOAS E COISAS ATRAVÉS DE
EVIDÊNCIAS DEIXADAS NO MEIO SEM FIO

Luiz Felipe Silva Oliveira

Setembro/2019

Orientador: Jano Moreira de Souza

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

O principal problema que se deseja endereçar é a detecção de presença de pessoas de forma automática através de técnicas que se beneficiem da multidão e de evidências deixadas no meio sem fio. No escopo dessa tese, serão estudadas duas propostas de intervenção que envolvam multidão para solução de problemas recorrentes em grandes centros urbanos. A primeira proposta é uma solução para monitoração do tempo de espera no atendimento a serviços; e a segunda proposta é uma solução para monitoração estimada da quantidade de pessoas em ambientes, podendo esses dados serem utilizados para orquestração de sistemas com o objetivo de redução de consumo de energia, dentre outras aplicações. Os resultados experimentais observados confirmam a possibilidade de detecção de presença em ambos cenários.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

SENSING OF CROWDS OF PEOPLE AND THINGS THROUGH EVIDENCES
LEFT IN THE WIRELESS MEDIA

Luiz Felipe Silva Oliveira

September/2019

Advisor: Jano Moreira de Souza

Department: Systems Engineering and Computing

The main problem to be addressed is the detection of the presence of people automatically through techniques that benefit from the crowd and evidence left wirelessly. In the scope of this thesis, two intervention proposals will be studied that involve multitude to solve recurrent problems in large urban centers. The first proposal is a solution for monitoring the waiting time in service attendance, and the second proposal is a solution for estimated monitoring of the number of people in environments, and this data can be used to orchestrate systems to reduce energy consumption, among other applications. The observed experimental results confirm the possibility of presence detection in both scenarios.

Sumário

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. <i>Objetivos da Pesquisa e sua Relevância</i>	4
1.2. <i>Questões de Pesquisa.....</i>	6
1.3. <i>Contribuições.....</i>	7
1.4. <i>Organização do Texto.....</i>	9
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
2.1. <i>Crowdsourcing</i>	10
2.2. <i>Mobile Crowd Sensing</i>	10
2.3. <i>Sensoriamento Participativo, Oportunístico e Híbrido.....</i>	13
2.4. <i>Internet das Coisas e Redes de Sensores Sem Fio</i>	17
2.5. <i>Classificação de Iniciativas de Sensoriamento.....</i>	18
2.6. <i>Sensoriamento através de evidências deixadas no meio sem fio</i>	21
2.7. <i>Evidências deixadas no meio sem fio por roteadores</i>	22
2.8. <i>Evidências deixadas no meio sem fio por clientes</i>	23
CAPÍTULO 3 – TRABALHOS RELACIONADOS.....	25
3.1. <i>Revisão de literatura de iniciativas específicas para monitoração do tempo de espera</i>	25
3.2. <i>Conclusões sobre a revisão de literatura de iniciativas específicas para monitoração do tempo de espera.....</i>	32
3.3. <i>Revisão de literatura de iniciativas específicas para detecção de presença de pessoas através de evidências deixadas no meio sem fio</i>	32
3.3.1. <i>Voz</i>	34
3.3.2. <i>GSM</i>	35
3.3.3. <i>WiFi.....</i>	35
3.3.4. <i>Bluetooth</i>	38
3.3.5. <i>PIR</i>	38
3.4. <i>Conclusões sobre a revisão de literatura de iniciativas específicas para detecção de presença de pessoas através de evidências deixadas no meio sem fio</i>	39
CAPÍTULO 4 – CENÁRIO DE APLICAÇÃO: MONITORAÇÃO DO TEMPO DE ESPERA EM ATENDIMENTO A SERVIÇOS PÚBLICOS E PRIVADOS.....	41
4.1. <i>Metodologia da pesquisa.....</i>	41
4.2. <i>Pesquisa de Opinião</i>	42
4.3. <i>Pesquisa em sites de reclamações</i>	44
4.4. <i>Entrevistas com as partes interessadas.....</i>	45
4.5. <i>Mecanismo de detecção automática de espera.....</i>	45
4.5.1. <i>Detecção automática de presença</i>	46
4.5.2. <i>Detecção automática de permanência</i>	47
4.5.3. <i>Validação da espera potencial em função do local</i>	48
4.5.4. <i>Mecanismo de Do Not Disturb</i>	49
4.5.5. <i>Confirmação explícita do início da espera.....</i>	50
4.5.6. <i>Detecção potencial do fim da espera</i>	51
4.5.7. <i>Confirmação explícita do fim da espera</i>	52
4.6. <i>Solução proposta</i>	52
4.6.1. <i>Base de dados de locais e organizações.....</i>	52
4.6.2. <i>Cenários</i>	53
4.6.3. <i>Arquitetura</i>	54
4.6.4. <i>Implementação do protótipo.....</i>	57

4.7.	<i>Experimentos e Resultados</i>	58
4.7.1.	<i>Experimento I - Detecção automática da espera através de redes WiFi</i> ...	58
4.7.2.	<i>Experimento II - Refinando a estimativa de início da espera através de dados do acelerômetro</i>	64
4.7.3.	<i>Experimento III - Validando o algoritmo de detecção automática de espera em uma fila</i>	72
4.8.	<i>Conclusão</i>	79
CAPÍTULO 5 – CENÁRIO DE APLICAÇÃO: ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE PESSOAS		80
5.1.	<i>Características das transmissões de Probe Requests</i>	81
5.2.	<i>Mecanismo de revezamento de canal</i>	85
5.3.	<i>Modelagem da máquina de estado</i>	87
5.4.	<i>Prototipação de hardware</i>	89
5.5.	<i>Avaliação e desempenho</i>	91
5.6.	<i>Experimentos e Resultados</i>	94
5.6.1.	<i>Avaliando a responsividade do método de inspeção de probe requests para detecção de presença</i>	94
5.6.2.	<i>Investigando o uso de múltiplas interfaces de rede</i>	102
5.6.3.	<i>Investigando a acurácia através da exploração dos parâmetros da máquina de estado</i>	107
5.7.	<i>Conclusão</i>	109
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO		111
6.1.	<i>Epílogo</i>	111
6.2.	<i>Revisitando as questões de pesquisa</i>	115
6.3.	<i>Contribuições e originalidade</i>	116
6.4.	<i>Limitações</i>	118
6.5.	<i>Trabalhos futuros</i>	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		124
APÊNDICE A		133
APÊNDICE B		142
APÊNDICE C		151

Lista de Figuras

FIGURA 1. A EVOLUÇÃO DA INTERNET (ADAPTADO DE NOKIA, 2015).....	2
FIGURA 2. PROBLEMA DE PESQUISA (ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR)	4
FIGURA 3. COMPARAÇÃO ENTRE AS ABORDAGENS MCS E IOT (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	5
FIGURA 4. NÍVEIS DE CONSCIÊNCIA OU ENGAJAMENTO REQUERIDOS DO USUÁRIO COM A TAREFA DE SENSORIAMENTO (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	14
FIGURA 5. ABORDAGENS TÉCNICO-METODOLÓGICAS DE SENSORIAMENTO (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	19
FIGURA 6. ESTÁGIOS DE CONEXÃO <i>WiFi</i> IEEE 802.11 (ADAPTADO DE GAST, 2005)	21
FIGURA 7. FLUXO DE TRANSMISSÃO DE PROBE REQUESTS (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2019)	23
FIGURA 8. CRONOLOGIA DAS INICIATIVAS DE MONITORAÇÃO DO TEMPO DE ESPERA (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR).....	26
FIGURA 9. TAXONOMIA DE INICIATIVAS PARA DETECÇÃO DA PRESENÇA DE PESSOAS E DISPOSITIVOS ATRAVÉS DE EVIDÊNCIAS DEIXADAS NO MEIO SEM FIO (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	34
FIGURA 10. PESQUISA DE CATEGORIAS DE ESTABELECIMENTO COM MAIOR FREQUÊNCIA DE ESPERAS RELATADOS (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2015).....	43
FIGURA 11. FLUXO DE TRABALHO DO MECANISMO DE DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE ESPERA (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2017).....	45
FIGURA 12. TELA DA CENTRAL DE NOTIFICAÇÕES DE ESPERAS DETECTADAS (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	51
FIGURA 13. TROCA DE MENSAGENS ENTRE COMPONENTES ARQUITETURAIS DA APLICAÇÃO DEMORÔ (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2015).....	56
FIGURA 14. REPORTANDO UMA ESPERA COM O DEMORÔ (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2017)	58
FIGURA 15. TELAS DO APLICATIVO AUXILIAR TRACEONE (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR).....	59
FIGURA 16. INTENSIDADE DE REDES <i>WiFi</i> DETECTADAS DURANTE O ESTABELECIMENTO (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR).....	60
FIGURA 17. MARCOS TEMPORAIS EXPLICITAMENTE DEFINIDOS PELO USUÁRIO (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	61
FIGURA 18. CONFIRMAÇÃO DA ESPERA POTENCIAL (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	62
FIGURA 19. PICO DE INTENSIDADE DE REDE (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	63
FIGURA 20. LEITURA DAS COORDENADAS X, Y E Z FEITAS DURANTE O EXPERIMENTO (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR).....	66
FIGURA 21. LEITURAS DO ACELERÔMETRO E MARCOS TEMPORAIS (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR) ...	67
FIGURA 22. DISTÂNCIA DA LEITURA DO ACELERÔMETRO E A SUA MÉDIA (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	68
FIGURA 23. MÉDIA DA LEITURA DA COORDENADA X DURANTE TODO O EXPERIMENTO (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR).....	69
FIGURA 24. MÉDIA FLUTUANTE SIMPLES (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2017).....	70

FIGURA 25. DISTÂNCIA DA MÉDIA FLUTUANTE SIMPLES (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	71
FIGURA 26. CASO TÍPICO DE FILA EM ESTABELECIMENTO COMERCIAL (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	72
FIGURA 27. LEITURA DA COORDENADA X DURANTE ESPERA EM UMA FILA EM PÉ (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	73
FIGURA 28. MARCOS TEMPORAIS EXPLÍCITOS E CALCULADOS DO EXPERIMENTO III (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR).....	74
FIGURA 29. MARCOS TEMPORAIS E LEITURAS DO ACELERÔMETRO DO EXPERIMENTO III (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR).....	74
FIGURA 30. MARCOS TEMPORAIS E A MÉDIA FLUTUANTE SIMPLES DA COORDENADA X (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2017)	75
FIGURA 31. MARCOS TEMPORAIS E DISTÂNCIA DA MÉDIA FLUTUANTE SIMPLES (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2017).....	77
FIGURA 32. INTENSIDADE DE ENVIO DE <i>PROBE</i> REQUESTS POR CADA ORIGEM EM CADA SLOT (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	82
FIGURA 33. NÚMERO DE DISPOSITIVOS TOTAIS VERSUS NÚMERO DE DISPOSITIVOS CONTINUAMENTE DETECTADOS (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2018).....	84
FIGURA 34. CANAIS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS POR REDES WiFi 2.4 GHz (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2019)	85
FIGURA 35. CANAIS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS POR REDES WiFi 5GHz (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	87
FIGURA 36. MÁQUINA DE ESTADO (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2019).....	87
FIGURA 37. INTERFACE WiFi USB COM O CHIPSET RALINK RT5370 (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR) 90	
FIGURA 38. VISÃO GERAL DO DISPOSITIVO SHERLOCK COM A PLATAFORMA RASPBERRY PI (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	90
FIGURA 39. TELA DO APLICATIVO MAIS MENOS CRIADO PARA REGISTRO DO GROUND TRUTH (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	92
FIGURA 40. COMPARAÇÃO ENTRE GROUND TRUTH E ESTIMATIVA (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	92
FIGURA 41. CONFIGURAÇÃO INICIAL DO EXPERIMENTO (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR)	95
FIGURA 42. NÚMERO MÉDIO DE PROBES DETECTADOS PARA CADA PARTICIPANTE DURANTE AS SEIS RODADAS (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2018).....	97
FIGURA 43. ANÁLISE TEMPORAL DE PROBES DETECTADOS DURANTE AS SEIS RODADAS (PARTE A) (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2018)	99
FIGURA 44. NÚMERO DE DETECÇÕES FEITA EM CADA UMA DAS FAIXAS TEMPORAIS (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2018).....	101
FIGURA 45. ESQUEMA SIMPLIFICADO DAS FONTES E FLUXO DE DADOS DO EXPERIMENTO (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2019).....	102
FIGURA 46. DETECÇÃO DE PESSOAS UTILIZANDO APENAS UMA INTERFACE DE REDE (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2019).....	104

FIGURA 47. DETECÇÃO DE PESSOAS UTILIZANDO QUATRO INTERFACES DE REDE (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2019).....	105
FIGURA 48. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O VALOR ESTIMADO E O CORRESPONDENTE <i>GROUND TRUTH</i> (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2019).....	106
FIGURA 49. ERRO MÉDIO RELATIVO ENTRE O VALOR ESTIMADO E O CORRESPONDENTE <i>GROUND TRUTH</i> (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2019).....	106
FIGURA 50. INFLUÊNCIA DO PARÂMETRO W_T NA DETECÇÃO DE PESSOAS (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2019).....	109
FIGURA 51. COMPARAÇÃO FINAL ENTRE AS ABORDAGENS HÍBRIDA E OPORTUNÍSTICA (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR).....	112
FIGURA 52. VERSÃO PRELIMINAR DA MONITORAÇÃO DA QUANTIDADE DE PASSAGEIROS EM ÔNIBUS (ELABORADA PELO PRÓPRIO AUTOR).....	122

Lista de Tabelas

TABELA 1. PUBLICAÇÕES DIRETAMENTE RELACIONADAS AO TEMA DA TESE.....	9
TABELA 2. REVISÃO DE LITERATURA DE INICIATIVAS DA MONITORAÇÃO DO TEMPO DE ESPERA	31
TABELA 3. ESTRATÉGIAS PARA INFERÊNCIA DE FILAS.....	57
TABELA 4. MARCOS TEMPORAIS DO EXPERIMENTO I.....	64
TABELA 5. MARCOS TEMPORAIS DO EXPERIMENTO III	78
TABELA 6. INFORMAÇÕES SOBRE OS APARELHOS CELULARES DOS VOLUNTÁRIOS	96
TABELA 7. THRESHOLDS E RESULTADOS.....	108
TABELA 8. COMPARAÇÃO COM OUTRAS PROPOSTAS RELACIONADAS	117
TABELA 9. PUBLICAÇÕES REALIZADAS DURANTE A PESQUISA DO DOUTORADO.....	118

Capítulo 1 – Introdução

A história da medição tem fortes relações com a história da humanidade. Desde que o homem fez suas primeiras refeições, seu progresso foi pautado pela evolução de suas habilidades com a medição. O primeiro sistema de medidas foi concebido juntamente com o desenvolvimento da agricultura na área que vai da Síria até o Irã por volta de 6.000 a.C., antes mesmo do surgimento da escrita cuneiforme na Mesopotâmia que data de 2.900 a.C. (STECCHINI, 1961). O primeiro instrumento de medida que se tem notícia é a balança Egípcia, que data aproximadamente de 1878 a.C. (PETRUSO, 1981). Um instrumento de medição é um equipamento capaz de expressar alguma grandeza em alguma unidade de medida.

Demorou muito tempo para que o homem fosse capaz de criar instrumentos que pudessem reagir de forma controlada de acordo com grandezas expressas por instrumentos de medida. De acordo com o dicionário Merriam-Webster, *“um sensor é um dispositivo que responde a estímulos físicos (como calor, luz, som, pressão, magnetismo, ou um movimento particular) e transmite o resultado como um impulso que pode ser usado para fins de medida ou controle”*. De acordo com nosso melhor conhecimento, o primeiro dispositivo com tais características é o Governador Centrífugo de James Watt. Criado em 1788, o dispositivo era capaz, através de um arranjo mecânico com pêndulo cônico, de manter uma velocidade aproximadamente constante do motor, regulando a quantidade de combustível admitido. Através do sensoriamento da energia cinética do motor, a válvula de admissão era controlada, regulando a velocidade do motor em um patamar aproximadamente constante (DENNY, 2002). Esse tipo de dispositivo que reúne funções de sensor e atuador foi amplamente utilizado nas máquinas a vapor que protagonizaram a Primeira Revolução Industrial.

O primeiro sensor de movimento foi patenteado por Samuel Bagno e data de 1953 (BAGNO, 1953) e baseia-se no efeito Doppler para detectar quando algum objeto se move. A detecção de presença pode ser utilizada em muitos contextos, desde a observação de fenômenos sociais como as filas de espera, o nível de utilização de salas corporativas, a lotação de meios de transporte, a aglomeração de pessoas em shows e espetáculos, apenas para citar alguns.

O principal problema que se deseja endereçar nesta tese é a detecção de presença de pessoas de forma automática através de técnicas que se beneficiem da multidão e de evidências deixadas no meio sem fio. No escopo dessa tese, serão estudadas duas

possíveis aplicações, reconhecendo que existem outras. A primeira delas é a monitoração do tempo de espera no atendimento a serviços; a segunda aplicação é a monitoração estimada da quantidade de pessoas em localidades.

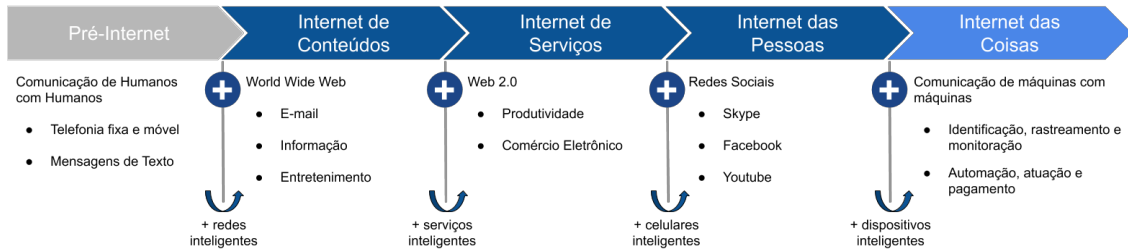


Figura 1. A evolução da Internet (adaptado de NOKIA, 2015)

A Figura 1 traça o panorama de um histórico recente de fases da evolução da Internet, e por consequência da forma que as pessoas se comunicam entre si e com máquinas. Na era Pré-internet, a tônica era a comunicação de humanos com humanos, através de telefonia fixa e móvel e mensagens de texto. Na sequência, foi inaugurada a era da Internet de Conteúdos, no início dos anos 90, com a definição do HTTP e a criação da *World Wide Web*. Essa era foi marcada pela criação de sites estáticos, comunicação através de mensagens de e-mail e o surgimento das primeiras *wikis*, sites de notícias e de entretenimento.

A próxima fase foi intitulada de Internet de Serviços, viabilizada pelo surgimento de plataformas computacionais mais robustas e padrões de interoperabilidade entre sistemas, que ajudaram a tornar o dia-a-dia das pessoas e das empresas mais produtivo. Essa fase foi chamada também de Web 2.0, e permitiu a criação de aplicações mais inteligentes para produtividade, colaboração e comércio eletrônico.

A quarta fase descrita na imagem, é a Internet das Pessoas, onde a comunicação entre humanos ganha ênfase mais uma vez, só que nesse momento essa comunicação é intermediada por plataformas de redes sociais. O elemento que marca o surgimento dessa fase é a popularização dos smartphones, esses dispositivos mudaram para sempre a forma como as pessoas se comunicam. Os serviços de redes sociais empoderaram as pessoas para que elas ocupassem um papel protagonista na criação de conteúdo. Diferente dos veículos de comunicação de massa, como as emissoras de televisão e grandes portais de notícia, onde a criação de conteúdo é centralizada, nas plataformas de redes sociais o conteúdo é criado por pessoas comuns. Qualquer um pode ser um criador de conteúdos, sejam textos, microtextos, imagens, vídeos, dentre outras possibilidades.

A quinta e última fase, chamada de Internet das Coisas, é impulsionada pela redução de custos e consequente popularização de dispositivos inteligentes e conectados. Nessa etapa, a tônica é a viabilização da comunicação de máquinas com máquinas e a análise de grandes volumes de dados. Nesse paradigma, o cotidiano das pessoas é fortemente alterado com o surgimento de dispositivos conectados, que estão em toda parte. Nesse modelo, humanos e máquinas interagem, complementando suas habilidades, com a intenção de tornar a sociedade mais segura e sustentável.

Nesse trabalho, temos um interesse especial pelas quarta e quinta fases apresentadas no panorama de evolução da Internet. A era da Internet das Pessoas habilitou que pessoas comuns se tornassem produtoras de conteúdo através de seus smartphones e isso impactou também a forma como as atividades de sensoriamento são realizadas. A partir desse momento, surgiram iniciativas para que pessoas comuns pudessem engajar seus aparelhos celulares em atividades de sensoriamento. A quinta fase também tem a atenção especial deste autor, pois a Internet das Coisas permitiu que dispositivos sensores de baixo custo conectados à Internet pudessem ser instalados em toda parte, abrindo também muitas novas possibilidades de sensoriamento. Ao contrário do que possa parecer, o surgimento de uma nova era na evolução da Internet não extingue a era anterior. Elementos da Internet das Pessoas e da Internet das Coisas convivem sob o mesmo espaço físico e temporal. Esse paradigma pode ser chamado de Internet de Tudo (IoE) ou Internet de Todas as Coisas, e este conceito está baseado em quatro pilares: pessoas, dados, processos e coisas (MIRAZ et al., 2015). Nesse contexto, podem ocorrer comunicações de Pessoas para Pessoas (P2P), Pessoas para Máquinas (P2M) e Máquinas para Máquinas (M2M). Nessa tese, iniciativas de sensoriamento que se beneficiem de todas essas formas de comunicação serão estudadas, e duas novas iniciativas propostas por este autor serão apresentadas.

A primeira iniciativa de sensoriamento proposta, refere-se à monitoração do tempo de espera no atendimento a serviços feito de forma cooperativa por cidadãos comuns. No escopo desse trabalho, serão investigados quais são os requisitos mínimos de uma solução que se proponha a tratar esse problema; e a aplicação da metodologia de *Action Design Research* de forma a conduzir a interação com grupos focais e exploratórios com o intuito de desenvolver protótipos especulativos que sejam aperfeiçoados a cada interação. A partir da interação com esses grupos focais, aspectos como técnicas de engajamento, interação com redes sociais, sensoriamento oportunístico, dentre outros aspectos serão pesquisados. Ainda nesse trabalho, será proposto um

aplicativo que contém um sensor para detecção automática de eventos de espera, que pode potencializar muito a interação dos usuários com a plataforma. Conforme detalhado em (OLIVEIRA et al., 2015a), espera-se que o empoderando da sociedade civil na causa de monitoração do tempo de espera em atendimentos gere um efeito de cascata de melhoria da prestação de serviços públicos e privados.

A segunda iniciativa proposta nesta tese é o uso de técnicas de sensoriamento para monitoração estimada da quantidade de pessoas, aplicada à descoberta e gestão de uso de espaços comuns (OLIVEIRA et al., 2018). Esse tipo de gestão pode viabilizar, dentre outras aplicações, o dimensionamento de carga de sistemas de refrigeração, calefação, iluminação, apenas para citar algumas, de forma variável, a depender da presença de pessoas, com o intuito de racionalização do uso para fins de economia de energia . Esse tipo de mecanismo tem bastante relevância, pois pode gerar impactos muito positivos, seja pelos pontos de vista financeiro ou ambiental.

1.1. Objetivos da Pesquisa e sua Relevância

O problema a ser abordado nessa tese será a detecção de presença de pessoas e dispositivos através de evidências deixadas no meio sem fio. O problema em questão será dividido em dois subproblemas, e cada um deles será objeto de estudo em um cenário de aplicação.

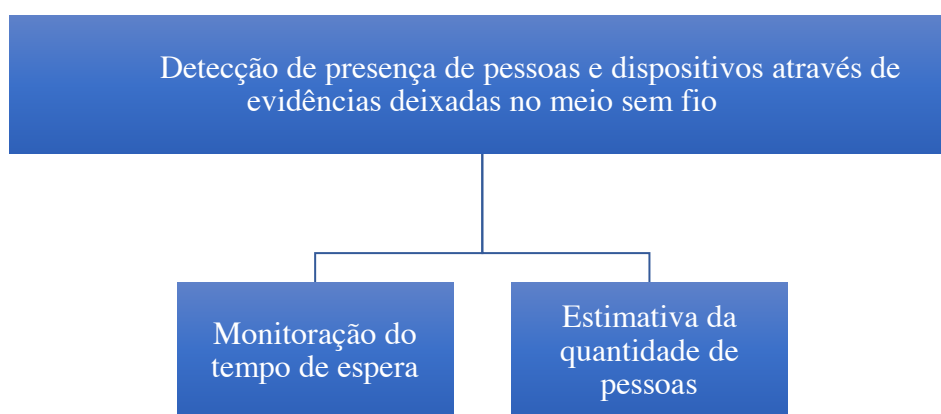


Figura 2. Problema de pesquisa (elaborado pelo próprio autor)

O problema de detecção de presença é antigo e existem diversas soluções aplicadas nesse contexto ao longo da história. As soluções mais tradicionais consistem no uso de sensores de movimento e no uso de câmeras. Sensores de movimento tradicionais são extremamente limitados (SHEN et al., 2017), pois não são capazes de diferenciar os

eventos de entrada ou saída, nem mesmo a quantidade de pessoas em um ambiente. O uso de câmeras com processamento de imagens geralmente incorre em questões de privacidade, custo e problemas com sobreposição de imagens, quando uma pessoa está na frente da outra (AUBERT, 1999).

O objetivo dessa pesquisa é endereçar soluções inovadoras para o problema de detecção de presença que se beneficiem do potencial da multidão e de evidências deixadas no meio sem fio. O problema em questão, será atacado em duas abordagens distintas, cada uma delas aplicada a um tipo de necessidade. Em ambos as abordagens as propostas se beneficiam de informações fornecidas pela multidão, porém com níveis distintos de engajamento. Na primeira abordagem, a detecção de presença será feita sob a ótica do *Mobile Crowd Sensing* (MCS), empoderando a multidão de pessoas, e atribuindo a esta um papel de protagonismo na solução. Na segunda abordagem, a detecção de presença será realizada sob a perspectiva da Internet das Coisas (IoT), atribuindo à multidão um papel passivo, sendo esta apenas o alvo da ação de monitoração. Na *Figura 3* pode-se ver a comparação entre as duas abordagens que serão detalhadas a seguir.

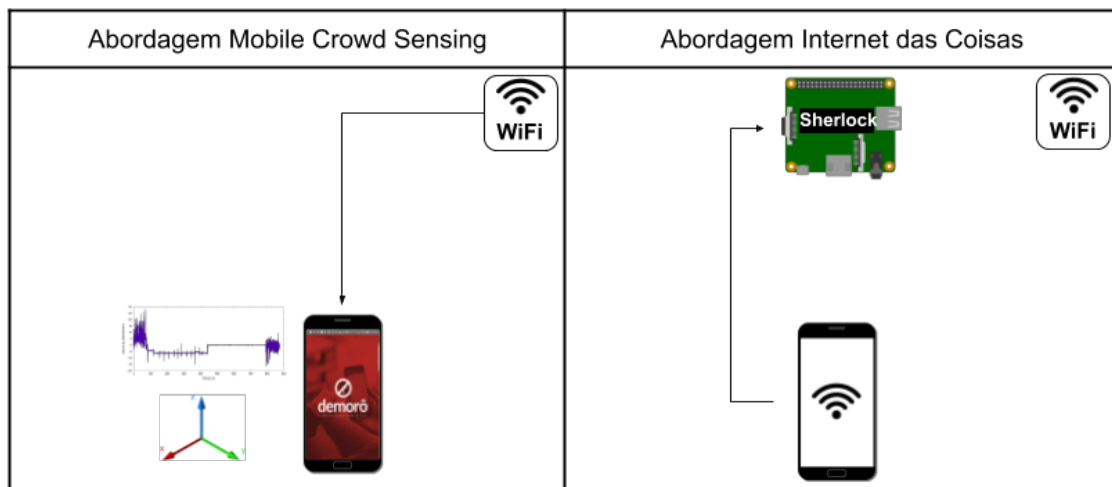


Figura 3. Comparação entre as abordagens MCS e IoT (elaborada pelo próprio autor)

No primeiro cenário, construído sob a base do MCS, a solução proposta, chamada Demorô, consiste na monitoração cooperativa, feita por cidadãos comuns, do tempo de espera no atendimento a serviços. Nessa abordagem, os participantes possuem um papel protagonista, sendo o elemento central da arquitetura juntamente com seus aparelhos celulares. Em abordagens MCS o fator humano é muito importante, pois é necessário que as pessoas se engajem na tarefa de sensoriamento. Resumidamente, a solução consiste no desenvolvimento de uma metodologia e um aplicativo que se beneficiem dos sensores

presentes no celular, de evidências deixadas no meio sem fio e do engajamento de cidadãos comuns para detectar e reportar eventos de espera sofridos por usuários. Nesta pesquisa, serão investigados quais são os requisitos mínimos de uma solução que se destina a tratar esse problema e como aplicar a metodologia de *Action Design Research* (ADR). A metodologia de ADR tem por objetivo conduzir a interação com grupos focais e exploratórios com o intuito de desenvolver protótipos especulativos que sejam aperfeiçoados a cada interação. A partir da interação com esses grupos focais aspectos como técnicas de engajamento, interação com redes sociais, sensoriamento oportunístico, dentre outros aspectos serão pesquisados. Um sensor para detecção automática de eventos de espera será apresentado.

No segundo cenário, uma abordagem distinta é endereçada para o problema de detecção de presença. Essa abordagem é construída dentro do paradigma de Internet das Coisas, na ótica do qual é desenvolvido um sensor especializado na detecção de presença de dispositivos sem fio, projetado no escopo dessa pesquisa. Nessa abordagem, as pessoas possuem um papel secundário, pois não é requerido delas nenhum engajamento, elas possuem um papel totalmente passivo na tarefa de monitoração. Uma contribuição importante foi a modelagem de uma máquina de estados capaz de detectar a chegada, permanência e a partida de pessoas e dispositivos em um ambiente a partir de evidências deixadas no meio sem fio.

1.2. Questões de Pesquisa

Visando sintetizar os objetivos descritos acima, propomos abordar neste trabalho as seguintes questões de pesquisa (QP):

QP1: Como monitorar o tempo de espera sofrido por um usuário, possuindo acesso ao dispositivo utilizado pelo mesmo?

QP2: Como estimar a quantidade de pessoas em localidades de forma totalmente transparente sem qualquer necessidade de intervenção humana?

1.3. Contribuições

Nessa seção serão descritas algumas contribuições apresentadas nesse trabalho. Serão também enumeradas algumas publicações que compõem o resultado de jornadas de pesquisas realizadas desde o início dos estudos de doutoramento até a escrita do texto de tese.

A principal contribuição desse trabalho é a proposição e validação de um mecanismo baseado em máquina de estado para estimar a quantidade de pessoas em uma localidade através de evidências deixadas no meio sem fio.

Além da contribuição principal, segue algumas outras contribuições presentes nesse trabalho:

1. Levantamento do estado da arte de soluções que se beneficiem dos paradigmas de *Mobile Crowd Sensing* e Internet das Coisas para resolver problemas do cotidiano;
2. Levantamento do estado da arte de iniciativas para monitoração do tempo de espera no atendimento a serviços;
3. Descrição do processo de desenvolvimento cooperativo, utilizando *Action Design Research*, de uma solução cooperativa para monitoração do tempo de espera no atendimento a serviços;
4. Projeto, implementação e validação de um mecanismo de detecção automática da presença de pessoas e de eventos de espera através de evidências deixadas no meio sem fio, dados do acelerômetro e utilização do potencial da multidão;
5. Levantamento do estado da arte de iniciativas para monitoração da quantidade estimada de pessoas em localidades;
6. Projeto, implementação e validação de uma máquina de estado modelada capaz de detectar de forma apurada a chegada, permanência e a saída de dispositivos e pessoas através de evidências deixadas no meio sem fio;
7. Projeto, implementação e validação de uma solução de hardware e software de detecção de presença para monitoração estimada da quantidade de pessoas em localidades.

Essas contribuições foram comunicadas em fóruns científicos de 2015 a 2019 através de publicações científicas, descritas a seguir e sumarizadas na Tabela 1. A

primeira publicação refere-se a uma proposta inicial de uma iniciativa para monitoração do tempo de espera em atendimento a serviços, batizada de Demorô, publicada na conferência *IEEE Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD) 2015*. No ano seguinte, foi publicada no CSCWD 2016 uma continuação desse estudo, endereçando uma pesquisa feita com grupos focais, utilizando a metodologia *Action Design Research*, para avaliar quais as características devem ser consideradas no projeto de uma aplicação para monitoração de tempos de espera em atendimentos. No ano de 2017 foram aceitos cinco trabalhos para publicação. Os dois primeiros foram publicados no CSCWD 2017, o primeiro deles refere-se a um estudo de revisão sistemática a respeito de aplicações de sensoriamento. Esse estudo foi feito com o apoio de uma plataforma para cadastro de iniciativa de aplicativos de multidão, o *Crowd App Database*, desenvolvida por este autor. O segundo trabalho apresenta um framework conceitual, criado para auxiliar pesquisadores na caracterização de comunidades de usuários para suporte a tomada de decisões de projetos de sensoriamento. Ainda no ano de 2017, foi aceita para o *International Journal of Computer Science: Theory Application* uma publicação que explana de forma mais completa a trajetória de pesquisa percorrida no projeto de monitoração do tempo espera em atendimento a serviços. Na sequência, um trabalho publicado no *International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC) 2017*, discorre sobre a proposta de um mecanismo capaz de se beneficiar cooperativamente de informações coletadas do *WiFi* e acelerômetro dos smartphones de usuários para detectar automaticamente eventos de espera sofridos pelas pessoas.

No ano de 2018, um trabalho apresentando os resultados preliminares do mecanismo Sherlock, proposto por este autor, capaz de detectar a chegada, permanência e a saída de pessoas em um ambiente através de evidências deixadas no meio sem fio, foi publicado no CSCWD 2018. Em 2019 foi publicado um novo artigo com os resultados de experimentação obtidos com a versão mais recente do mecanismo Sherlock. O artigo (OLIVEIRA et al., 2019), publicado na revista *IEEE Access*, contém resultados do mecanismo de detecção de dispositivos capaz de estimar a quantidade de pessoas em determinado local.

Tabela 1. Publicações diretamente relacionadas ao tema da tese

QP	Título	Fórum
QP1	Leveraging the crowd collaboration to monitor the waiting time of day-to-day services	CSCWD 2015
QP1	Designing for monitoring the waiting time of day-to-day services	CSCWD 2016
QP1 e QP2	Towards an observatory for mobile participatory sensing applications	CSCWD 2017
QP1	Crowd sensing to monitor the waiting time of day- to-day services	IJCSTA 2017
QP1	Automatic detection of waiting times using smartphones	SMC 2017
QP2	Sherlock: Capturing <i>Probe Requests</i> for Automatic Presence Detection	CSCWD 2018
QP2	Mobile Device Detection through <i>WiFi Probe Request</i> Analysis	IEEE Access 2019

1.4. Organização do Texto

No Capítulo 2 será apresentada uma fundamentação teórica. No Capítulo 3 serão pesquisados trabalhos relacionados às propostas feitas nesta tese. No Capítulo 4, são abordados aspectos que nortearam a pesquisa, desenvolvimento e validação de uma iniciativa para detecção do tempo de espera em serviços. No Capítulo 5, são abordados aspectos importantes da proposição, desenvolvimento e validação de uma iniciativa para monitoração estimada da quantidade de pessoas em localidades. No Capítulo 6 são feitas as conclusões e indicação de trabalhos futuros.

Capítulo 2 –Fundamentação Teórica

2.1.Crowdsourcing

O termo crowdsourcing é um campo de pesquisa já explorado por muitos pesquisadores, levando à existência de diferentes definições (THUAN et al., 2014). De acordo com uma definição popular, crowdsourcing refere-se a um modelo de resolução distribuída de problemas em que uma multidão de tamanho indefinido está envolvida para resolver um problema complexo através de uma chamada aberta. A estratégia de alavancar multidões para resolver problemas difíceis ou não triviais tem sido investigada nos últimos anos por vários grupos de pesquisa.

Pode-se acrescentar aqui duas importantes definições de *crowdsourcing*:

- “modelo distribuído de resolução de problemas onde uma multidão está envolvida na resolução de um problema complexo através de uma chamada aberta” (BRABHAM, 2008);
- “a prática de obter serviços ou conteúdo necessários, solicitando contribuições de um grande grupo de pessoas, e especialmente de uma comunidade on-line, ao invés de funcionários tradicionais ou fornecedores.” Merriam-Webster Dictionary¹

2.2.Mobile Crowd Sensing

A ideia de construir redes de sensores sem fio é antiga, porém este tipo de estratégia sempre esbarrou em problemas para sua implantação em larga escala, devido aos elevados custos de instalação e manutenção e problemas de escalabilidade (GUO et al., 2014).

A popularização de smartphones abriu um próspero caminho para que os aparelhos celulares das pessoas sejam utilizados para fins de sensoriamento. Em paralelo, têm ocorrido progressos significativos no desenvolvimento de aplicativos e dispositivos móveis, que atualmente possuem um elevado número de sensores, hardware aprimorado

¹ <https://www.merriam-webster.com/dictionary/crowdsourcing>

e outros aspectos, como o desempenho da bateria e o uso em larga escala de redes 3G e 4G.

Aparelhos celulares estão se tornando rapidamente o principal dispositivo de comunicação das pessoas. O número de celulares em todo mundo já é maior que o número de pessoas, esse fato não é diferente no Brasil. Dados do Mobile Statistics Report, 2017-2021 (THE RADICATI GROUP, 2017), indicam projeção de 13 bilhões de dispositivos móveis (incluindo celulares e tablets) com projeções para que esse número chegue a mais de 12 milhões em 2018. No Brasil, dados de 2015 da Anatel apontam que existem 301,5 milhões de telefones celulares, projeção feita pelo IBGE² indica que a população brasileira em 2017 é de pouco mais de 207 milhões de habitantes.

Existem no mundo mais de 6 bilhões de usuários de aparelhos celulares (THE RADICATI GROUP, 2017), boa parte destes já utilizam smartphones. Esses aparelhos carregam consigo um incrível potencial para capturar e compartilhar diversos dados, como posição, imagens, sons, etc. Devido a característica multitarefa dos aparelhos celulares modernos, é possível estender o uso desses dispositivos para fins que extrapolam a sua destinação original, como a sua aplicação em iniciavas que envolvem redes de sensoriamento.

O sensoriamento feito por multidões é um caso especial de crowdsourcing no qual essa multidão de pessoas se utiliza de aparelhos celulares para coletar e compartilhar dados de suas circunvizinhanças. Podemos encontrar na literatura algumas definições importantes para *Mobile Crowd Sensing* (MCS):

- “Um novo paradigma de sensoriamento que empodera os cidadãos comuns para contribuir com dados detectados ou gerados a partir de seus dispositivos móveis, agregando e fundindo os dados na nuvem para extração de inteligência de multidão e entrega de serviços centrada nas pessoas” (GUO et al., 2014)
- “A capacidade de adquirir conhecimento local através de dispositivos móveis com sensores aperfeiçoados - por exemplo, localização, contexto pessoal, nível de ruído, condições de trânsito e, no futuro, informações mais especializadas,

² <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>

como a poluição - e a possibilidade de compartilhar esse conhecimento dentro da esfera social , prestadores de cuidados de saúde e prestadores de serviços”. (GUO et al., 2014)

Em (BURKE et al., 2006) o sensoriamento participativo é originalmente definido como: *“uso de dispositivos móveis do cotidiano para formar redes de sensores interativos e participativos que permitem ao público e usuários profissionais reunirem, analisarem e compartilharem conhecimentos locais.”*

O termo *“participatory sensing”* é predecessor de *“mobile crowd sensing”*, porém trata-se de um conceito menos amplo, pois enfatiza em sua definição a participação explícita do usuário nas atividades de coleta dos dados. De acordo com (GUO et al., 2014), foram duas as principais motivações que levaram à proposição do novo termo, *Mobile Crowd Sensing* (MCS): (1) o MCS considera os dados sensorizados a partir de dispositivos móveis e também de dados gerados por usuários em serviços de redes sociais; (2) o MCS agrega contribuições explícitas e implícitas de usuários.

Nesse trabalho, utilizaremos o termo sensoriamento feito por multidões para referenciar ao conceito de MCS nas suas diversas possibilidades que envolvem a participação de multidões de pessoas na coleta de dados (seja de forma implícita ou explícita). A definição de MCS admite também o uso de dados extraídos de redes sociais. Atualmente, quantidades massivas de dados são continuamente coletadas e compartilhadas nas redes sociais (Facebook, Twitter, Instagram, dentre outras) através de smartphones, essas postagens podem corresponder à observações de usuários sobre elementos do mundo real. Entende-se por social sensing a estratégia de consumo das informações fornecidas por usuários em redes sociais (WANG; ABDELZAHER; KAPLAN, 2015).

De acordo com Kanhere (KANHERE, 2011), uma aplicação típica de sensoriamento participativo opera de forma centralizada, ou seja, dados de sensores coletados pelos telefones de voluntários são compartilhados para um servidor central, através de comunicação sem fio, para processamento e análise. As tarefas de sensoriamento nos telefones podem ser acionadas manualmente ou automaticamente com base no contexto atual. No servidor, os dados são analisados e disponibilizados de várias formas, como gráficos ou mapas que mostram resultados de detecção de escala individual, ou comunitária. Os resultados podem ser exibidos localmente em aparelhos celulares ou

acessados pelo público mais amplo através de portais, dependendo das necessidades da aplicação (KANHERE, 2011).

Os smartphones podem ser considerados equipamentos multi-sensores, pois em um único aparelho, pode-se encontrar dispositivos capazes de fornecer imagens em tempo real, sons, informações sobre geolocalização, inclinação e assim por diante. Ao contrário dos sensores tradicionais, que geralmente requerem um processo de coleta de dados, os smartphones têm acesso à Internet, o que garante uma maior flexibilidade na obtenção dessa informação.

O *Mobile Crowd Sensing* consolidou-se como uma alternativa viável para implantação em larga escala de redes de sensoriamento sem fio.

2.3.Sensoriamento Participativo, Oportunístico e Híbrido

As atividades de sensoriamento feita por multidões (*crowdsensing*) podem ser feitas através de duas principais abordagens: o sensoriamento participativo e o sensoriamento oportunístico (KHAN et al., 2013). O sensoriamento participativo (*participatory sensing*), caracteriza-se pelo fato do participante estar diretamente envolvido na ação de sensoriamento. Nesse tipo de abordagem, a pessoa está incluída em significativas decisões no fluxo de trabalho do sensoriamento, decidindo ativamente o que deve ser compartilhado. No sensoriamento oportunístico (*opportunistic sensing*), o usuário não está sempre consciente sobre os fluxos em execução da aplicação de sensoriamento. Nessa abordagem, o usuário não está envolvido diretamente ou tomando decisões importantes sobre a coleta e compartilhamento de dados. Ao invés disso, o próprio dispositivo encarrega-se das decisões dos dados que devem ser sensorizados e compartilhados. Em (GUO et al., 2014) esses termos são revistos, e o autor propõe o uso das palavras explícito para caracterizar o sensoriamento participativo e implícito para caracterizar o sensoriamento oportunístico.

De acordo com (WANG; ABDELZAHER; KAPLAN, 2015), no sensoriamento participativo, os indivíduos estão explícita e ativamente envolvidos no processo de sensoriamento, e optam por realizar algumas operações críticas (por exemplo, operar os sensores) para atender aos requisitos de sensoriamento da aplicação. Já no sensoriamento oportunístico, os indivíduos são passivamente envolvidos, por exemplo, pré-autorizando seu dispositivo de detecção para compartilhar informações em nome do proprietário

sempre que acionado por mecanismo automatizado de coleta de dados indicado para atender aos requisitos de sensoriamento da aplicação.

Ainda sobre o nível de envolvimento dos participantes com a tarefa de sensoriamento, em (GUO et al., 2015) é proposta uma classificação que inclui uma terceira categoria, além do sensoriamento participativo e oportunístico é contemplado também o sensoriamento híbrido, que combina características dos dois anteriores, como controle do usuário e sensoriamento automático.

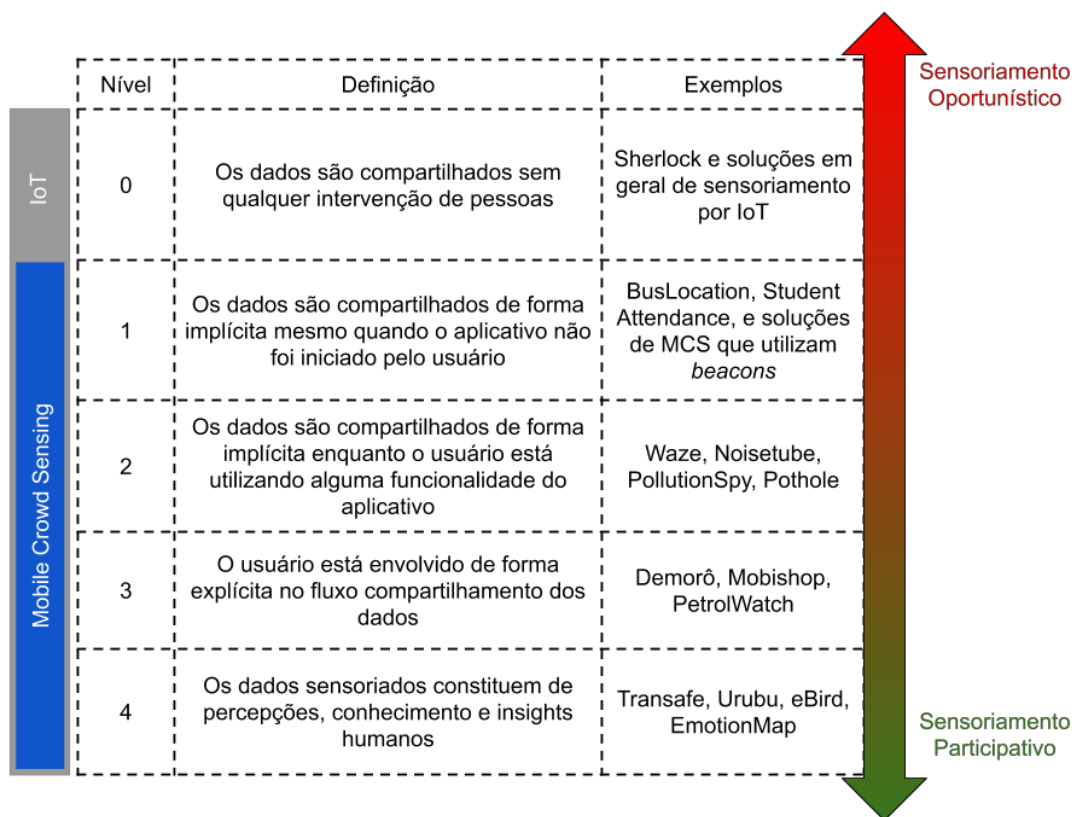


Figura 4. Níveis de consciência ou engajamento requeridos do usuário com a tarefa de sensoriamento (elaborada pelo próprio autor)

Na Figura 4, é descrita uma classificação multicamadas, proposta por este autor, para posicionar aplicações de sensoriamento dentro de uma escala de sensoriamento participativo v.s. oportunístico. A proposta dessa classificação em níveis surgiu pois, apesar de algumas iniciativas serem claramente participativas ou oportunísticas, algumas outras estão em uma região limítrofe de difícil classificação.

Um dos fatores que torna difícil essa classificação, é que em muitas vezes uma mesma aplicação possui dados sensorizados de forma participativa e outros de forma

oportunistica. Um exemplo clássico é o aplicativo Waze (LEVINE; SHINAR; SHABTAI, 2008), utilizado por milhões de motoristas para encontrar as melhores rotas baseadas nas condições atuais de trânsito. Nas versões atuais do aplicativo, o motorista não precisa mais informar a condição atual do tráfego, ou o motivo do veículo ter reduzido a velocidade, o aplicativo se encarrega sozinho de definir que trata-se de um congestionamento e compartilha essa informação com outros usuários. Note que o aplicativo se encarrega sozinho da atividade de sensoriamento e compartilhamento dos dados, bastando que o usuário deixe o aplicativo aberto. No entanto, o mesmo aplicativo possui também fluxos participativos, onde o usuário pode reportar buracos na estrada, veículos parados na pista, blitz policiais, preço de combustíveis dentre outras informações que podem ser sensoriadas.

Para construção da classificação exibida na Figura 4 será considerado sempre o principal fluxo de sensoriamento do aplicativo, que no caso do *Waze* é a condição de tráfego, que é compartilhada de forma totalmente transparente pelo usuário do aplicativo.

De acordo com a Figura 4, no nível 4 estão as aplicações com maior dependência do fator humano. Nessa classe, os dados sensorizados agregam a inteligência humana na forma de percepções, opiniões e conhecimento. Aplicações típicas dessa categoria são as iniciativas de Crowd Science (ESTEVES, 2016) onde, por exemplo, especialistas ou pessoas comuns são recrutadas para descrever a fauna e a flora locais, como no aplicativo *eBird* (KELLING et al., 2012).

No nível 3, os usuários ainda estão envolvidos de forma explícita na tarefa de sensoriamento e compartilhamento de dados, porém com um nível de cognição menor. Nessa categoria, o usuário geralmente é responsável por disparar uma atividade de sensoriamento e confirmar o envio dos dados. Exemplos típicos são os aplicativos de monitoração de preços, onde os usuários enviam fotografias de placas de postos de combustível, *PetrolWatch* (DONG et al., 2009) e de cupons fiscais (SEHGAL; KANHERE; CHOU, 2008), sendo os aplicativos responsáveis por catalogar de forma automática o preço dos produtos. Fluxo semelhante ocorre com o aplicativo *Demorô*, proposto por este autor, nesse aplicativo eventos de espera são detectados automaticamente, e o usuário é convidado a confirmar ou fazer eventuais ajustes sobre os eventos de espera detectados.

No nível 2, os usuários não possuem consciência exata sobre os dados que são compartilhados e o nível de cognição exigido aos usuários é quase nulo. Nesses casos o usuário precisa apenas deixar o aplicativo aberto, ou em alguns casos apenas iniciar a

monitoração. Nessa classe, os usuários não são solicitados para fazer ajustes e o sensoriamento é feito de forma contínua. Nessa categoria pode ser enquadrado o aplicativo Waze que compartilha informações de velocidade enquanto o usuário está visualizando a sua rota, o aplicativos Noisetube (MAISONNEUVE et al., 2009) que monitora os níveis de ruído através do microfone do celular e do Pothole (ERIKSSON et al., 2008) que detecta buracos na via através de informações coletadas pelo acelerômetro do smartphone.

Na próxima camada dessa escala, o nível 1 denota-se por permitir que o fluxo de comunicação ocorra com um nível de envolvimento mínimo desse usuário. Nesse caso, é solicitado somente que o usuário instale o aplicativo. No aplicativo *BusLocation* (TANAKA; NAITO, 2016) é utilizada uma combinação de smartphones e dispositivos do tipo *beacon*. Dispositivos *beacons* enviam periodicamente através do meio sem fio a sua identificação e outras informações relevantes (CHEEKIRALLA; ENGELS, 2005). O papel do aplicativo *BusLocation* é monitorar quando uma transmissão desse tipo é realizada, e compartilhar a informação de latitude e longitude para que se tenha a localização dos ônibus de uma cidade. O mesmo ocorre para o aplicativo *Student Attendance* (NOGUCHI et al., 2015) que detecta em que sala de aula um estudante está. Note que a atividade de sensoriamento ocorre, mesmo quando o usuário não toma a iniciativa de abrir o aplicativo. O próprio sistema operacional encarrega-se de abrir o aplicativo em plano de fundo para que a tarefa de sensoriamento ocorra quando o aparelho está na presença de um tipo de *beacon* previamente configurado pelo usuário.

Apesar de que no nível 1 a consciência exigência do usuário para realização da atividade de sensoriamento ser extremamente baixa, ainda é necessário que o usuário instale um aplicativo e faça autorizações iniciais. Esse tipo de demanda será sempre necessária quando a atividade de sensoriamento for executada por aparelhos celulares. Isso acontece pois os aparelhos celulares são dispositivos custodiados por humanos, e estes sempre possuem algum nível de consciência sobre a atividade de sensoriamento realizada (LANE et al., 2008).

No nível 0 estão enquadradas as aplicações em que as atividades de sensoriamento ocorrem sem nenhuma intervenção humana durante a sua execução. Para realização dessas tarefas de sensoriamento são utilizados dispositivos não custodiados por humanos, o advento da Internet das Coisas contribuiu para a proliferação desses dispositivos por toda a parte. Nessa categoria pode ser citado como exemplo a iniciativa Sherlock (OLIVEIRA et al., 2018), proposto por este autor, que se utiliza de uma máquina de

estado e um dispositivo especialmente projetado para a detecção da presença de dispositivos e pessoas através de evidências deixadas no meio sem fio. Note que para que essa atividade de sensoriamento ocorra não é necessária a instalação de aplicativos nos celulares das pessoas, não exigindo qualquer tipo de consciência ou engajamento dos indivíduos que estão sendo alvo a ação de sensoriamento. Inúmeras outras iniciativas podem ser classificadas também nesta categoria, por se beneficiarem de dispositivos IoT para realizarem atividades de sensoriamento, como aplicações de casas inteligentes (Kelly et al., 2013) e de agricultura inteligente (TONGKE, 2013).

2.4. Internet das Coisas e Redes de Sensores Sem Fio

No paradigma de redes de sensores sem fio, *Wireless Sensor Networks* (WSNs), sensores dedicados são implantados para adquirir dados do mundo real. Esses sensores são chamados de nós, e geralmente enviam os dados lidos para um roteador ou um nó central. Há algumas décadas, os elevados custos dos equipamentos e de conexões têm sido obstáculos para que os sensores estivessem conectados diretamente à Internet. Felizmente essa realidade tem sido superada, com a implantação da versão 6 do *Internet Protocol* (IP), que resolveu o problema de escassez de endereços IP, aliado a evolução dos equipamentos e das redes de telecomunicação, que reduziram os custos de conectividade, está cada vez mais viável conectar dispositivos diretamente à Internet.

Essa nova era com endereçamento IP abundante, redução dos custos de conexão e redução dos custos de fabricação de dispositivos eletrônicos abriu as portas para a implantação em larga escala do conceito de Internet das Coisas. O Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica (IEEE) define Internet das Coisas como: “*uma rede de itens, cada um com sensores embutidos que são conectados à Internet*” (IEEE, 2014). Como pode-se observar o conceito de Internet das Coisas é mais amplo, pois trata da conexão ponta a ponta do sensor até a Internet, independente se essa conexão é com ou sem fio.

De acordo com (LI; XU; ZHAO, 2015), Internet das Coisas é geralmente definido como “*infraestrutura global e dinâmica de rede com capacidade de autoconfiguração baseada em padrões e protocolos interoperáveis de comunicação*”. O termo IoT pode ser definido também como uma rede global interconectada baseada em sensoriamento, comunicação, conectividade e tecnologias de processamento de informação. Outra característica marcante do conceito IoT, é que nessa abordagem os objetos precisam estar aptos para se comunicarem e trocarem dados uns com os outros de forma autônoma. Essa

autonomia intrínseca da comunicação de máquina para máquina pode trazer muitos benefícios para iniciativas de sensoriamento.

Neste trabalho, estamos especialmente interessados na visão de IoT sob a perspectiva do sensoriamento, observando suas vantagens e desvantagens em relação ao paradigma de *Mobile Crowd Sensing*.

2.5.Classificação de Iniciativas de Sensoriamento

Considerando as diferentes abordagens e tecnologias disponíveis para realização de atividades de sensoriamento, uma questão interessante é visualizar como essas estratégias se relacionam. Dentre os aspectos que podem ser estudados é se uma abordagem pode ser utilizada juntamente com outra, ou se são excludentes. Com o objetivo de fazer essa investigação, este autor utilizou-se da simbologia de conjuntos através do diagrama de *Venn*. Esse tipo de diagrama facilita a visualização da relação entre as definições aqui apresentadas, as suas interseções e a relação com as iniciativas que exploram cada uma das diferentes combinações possíveis de estratégias de sensoriamento.

Na *Figura 5* é possível observar uma ilustração que se propõem a colocar no mesmo plano grandes temas de pesquisa que estão envolvidos em iniciativas de sensoriamento. Os dois grandes conjuntos são o *Mobile Crowd Sensing* e o de Internet das Coisas, que se referem a abordagem técnico-metodológica utilizada para endereçar uma demanda de sensoriamento. Na perspectiva do MCS esse sensoriamento pode ser oportunístico ou participativo, no caso de participativo podendo ser enquadrado ainda como Social Sensing, que ocorre quando a iniciativa segue o formato de rede social ou é baseada em dados extraídos de alguma rede social. Quando se trata de iniciativas que seguem os padrões de IoT, inclui-se nesse conjunto todo o legado de WSNs, e também as demais soluções de IoT que envolvem sensoriamento.

Internet das Coisas

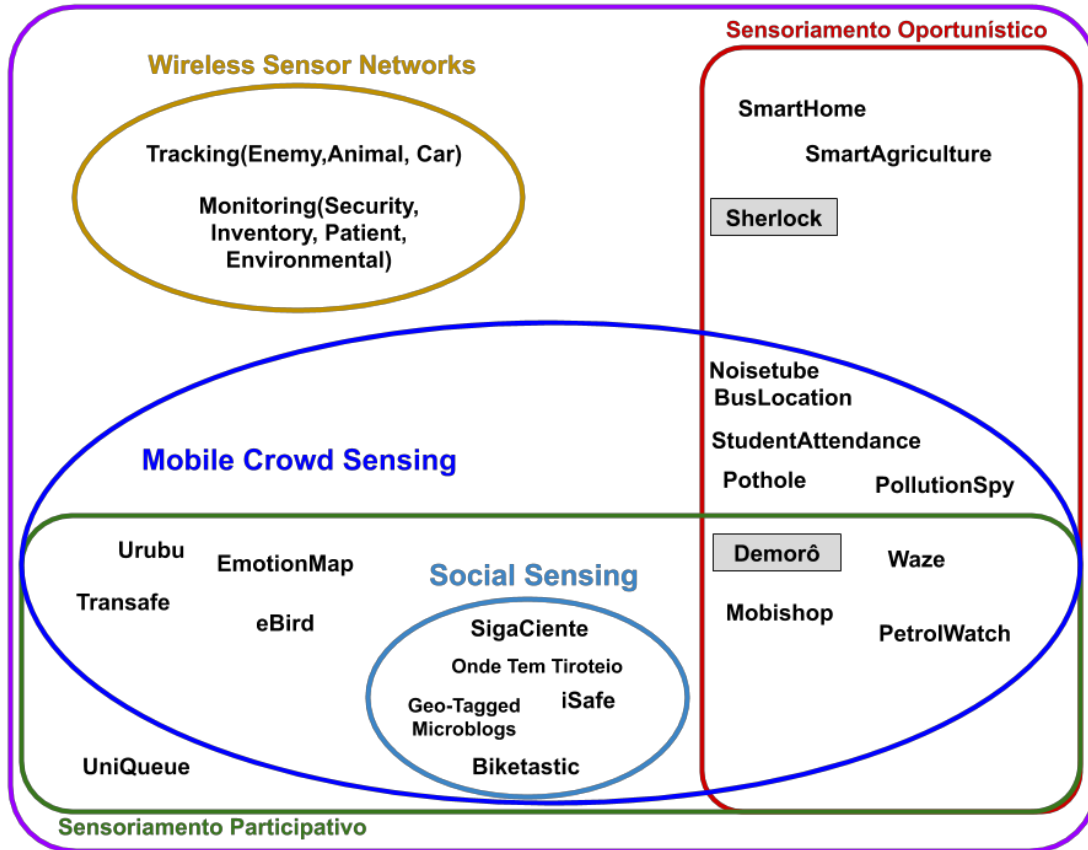


Figura 5. Abordagens técnico-metodológicas de sensoriamento (elaborada pelo próprio autor)

Conforme pode-se observar na *Figura 5*, a maior parte das iniciativas inventariadas está na classe de MCS, podendo essas iniciativas requerer um nível de engajamento de seus usuários de forma participativa, oportunística ou híbrida. Aplicações de MCS e participativas exigem do usuário um papel de protagonista na atividade de sensoriamento, fornecendo percepções ou opiniões sobre o mundo real. Nas iniciativas Urubu (BAGER et al., 2016) e eBird (KELLING et al., 2012) os participantes fornecem informações sobre a fauna local, esses são típicos exemplos de aplicações de Crowd Science (COOK, 2011). Outro tipo específico de aplicações são as de MCS e Social Sensing, que extraem dados enviados por usuários às redes sociais. As iniciativas iSafe (BALLESTEROS et al., 2014) e Geo-Tagged Microblogs (LEE; WAKAMIYA; SUMIYA, 2011) reutilizam dados extraídos de redes sociais para fornecer aos usuários insights sobre condições de segurança locais. Existem iniciativas brasileiras também nessa área, o aplicativo Sigaciente (SECRON et al., 2016) e o perfil Onde Tem Tiroteio (OTT) (ANTUNES, 2018) divulgam informações sobre blitz e tiroteios através de informações inseridas por usuários nas redes sociais. O sensoriamento pode ser

participativo mas não ser feito sob a ótica do MCS. A iniciativa UniQueue (GONCALVES et al., 2016) é um sistema para monitoração de tempo de espera para atendimento, que se utiliza da abordagem de sensoriamento participativo, só que não é feito através de smartphones. Nessa iniciativa, os autores optaram por utilizar quiosques distribuídos pela universidade.

Existem ainda as iniciativas de MCS híbridas, que agregam fluxos de cooperação com características participativas e oportunísticas. Nessa categoria, pode-se citar: Demorô (OLIVEIRA et al., 2015a), aplicativo para monitoração do tempo de espera em atendimentos; Waze (LEVINE; SHINAR; SHABTAI, 2008), aplicativo para monitoração de condições de tráfego; Mobishop (SEHGAL; KANHERE; CHOU, 2008) e PetrolWatch (DONG et al., 2008), aplicativos que processam imagens para monitoração de preços de produtos e combustível, respectivamente.

As iniciativas de MCS que não requerem elevado nível de cognição de seus usuários em suas atividades de sensoriamento foram classificadas no conjunto de MCS Oportunísticas, pois nessas aplicações os participantes têm um nível de consciência muito baixo dos dados que estão sendo compartilhados. Nas aplicações Noisetube (MAISONNEUVE et al., 2009), Pothole (ERIKSSON et al., 2008) e PollutionSpy (KANJO et al., 2009), o usuário aciona o início do sensoriamento e a aplicação coleta e envia automaticamente dados relativos a níveis de ruído, buracos em estradas e poluição no ambiente, respectivamente. Abordando ainda soluções MCS oportunísticas, duas delas merecem destaque, os aplicativos *BusLocation* (TANAKA; NAITO, 2016) e o *Student Attendance* (NOGUCHI et al., 2015) se utilizam de *beacons*, instalados em localidades específicas, para que os aplicativos sejam acionados automaticamente quando estiverem nas proximidades desses *beacons*. Dessa forma, os dados são compartilhados sem que o participante tenha consciência sobre esse evento.

Por fim, existem as soluções que podem ser enquadradas dentro do paradigma de Internet das Coisas, classe mais genérica do modelo. De acordo com (KHADDAR; BOULMALF, 2017), o conceito de IoT contempla uma variedade de dispositivos interconectados, incluindo *smartphones*, *home appliances*, sensores e outros dispositivos de rede. Por esse motivo, decidimos posicionar o MCS como um subconjunto de IoT. Além do MCS, a classe IoT contempla ainda as soluções tradicionais de WSNs e as novas soluções inteligentes para automação residencial, industrial e rural.

2.6.Sensoriamento através de evidências deixadas no meio sem fio

As redes sem fio de acesso múltiplo surgiram em 1971, na Universidade do Haváí, de uma rede chamada ALOHAnet (ABRAMSON, 1970), considerada a primeira rede local sem fio. Em 1990 foi criado o grupo de trabalho IEEE 802.11 (IEEE, 1999) com o objetivo de normatizar as redes sem fio de computadores. No ano de 1997 o IEEE 802.11 foi aceito como padrão de comunicação de dados para redes locais sem fio. Além do padrão IEEE 802.11 que especifica as redes WLAN, existe também o IEEE 802.15 que estabelece alguns padrões para as redes WPAN, como as redes ZigBee (ALLIANCE, 2005) e Bluetooth (BHAGWAT, 2001).

Uma característica fundamental do meio sem fio é a sua natureza *broadcast*, que significa que os dados trafegam pelo meio e podem ser ouvidos por qualquer receptor que esteja dentro do alcance do raio de transmissão. A exploração de evidências no meio sem fio pode ser realizada em diferentes tecnologias de transmissão, como *WiFi* (OLIVEIRA et al., 2018), GSM (OTSASON et al., 2005), Bluetooth (ALHAMOUD et al., 2014), dentre outras. Neste trabalho, estamos especialmente interessados na exploração de evidências deixadas no meio sem fio em redes *WiFi* IEEE 802.11.

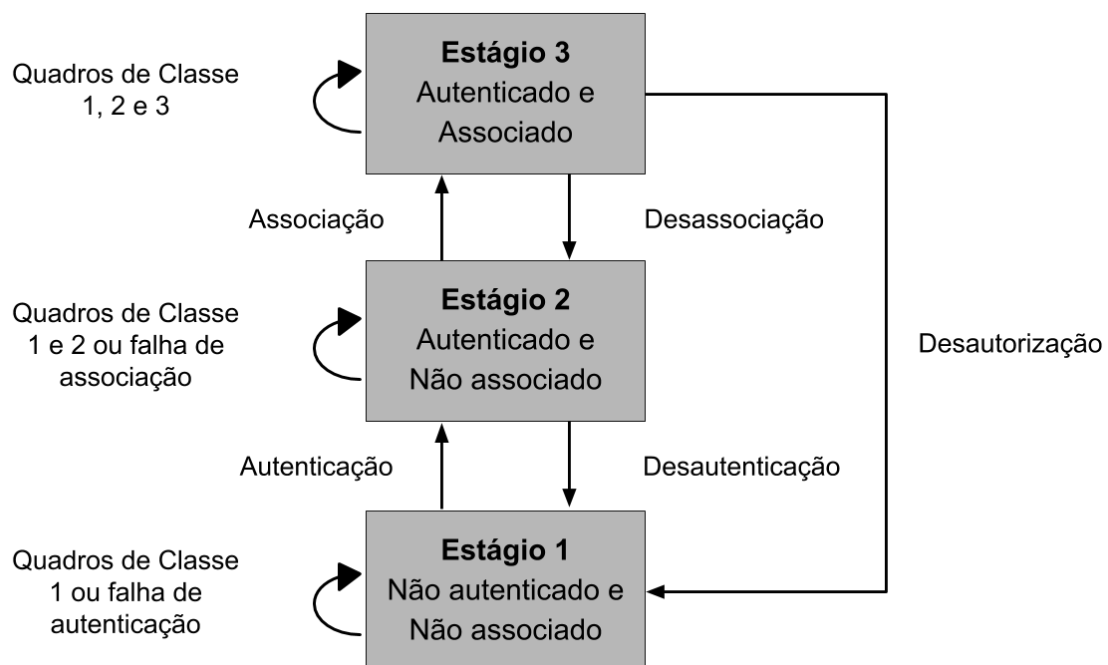


Figura 6. Estágios de conexão *WiFi* IEEE 802.11 (adaptado de GAST, 2005)

A Figura 6 ilustra os três diferentes estágios em que um nó pertencente a uma rede *WiFi* pode estar alocado. No Estágio 1, considerado o estágio inicial, o nó não está autenticado e nem associado; no Estágio 2 o nó está autenticado mas não associado; e no Estágio 3 o nó da rede está autenticado e associado. Enquanto um nó de rede sem fio está no Estágio 1, todas as informações são enviadas no meio sem fio sem qualquer tipo de proteção ou criptografia, isso significa que qualquer outro nó pode interpretar essas informações bastando estar dentro do raio de alcance. Os pacotes de dados dos usuários são enviados somente quando o nó está no Estágio 3, nesse estágio as transmissões podem ser criptografadas, dependendo das configurações de rede. No escopo desse trabalho não estamos interessados em inspecionar os pacotes de dados dos usuários, nosso foco está somente nos pacotes de controle que são transmitidos no meio sem fio sem qualquer tipo de proteção.

Um desafio importante das redes sem fio é a descoberta de redes. Os dispositivos móveis e os pontos de acesso (AP) precisam de um mecanismo para anunciar com eficiência sua presença um ao outro. O padrão IEEE 802.11 define dois mecanismos para esse fim: um mecanismo passivo no qual os *APs* anunciam periodicamente sua presença à dispositivos móveis usando quadros chamados de *beacons*, e um mecanismo ativo no qual os dispositivos móveis buscam ativamente os *APs* usando solicitações de sondagem, ou *probe requests*.

2.7.Evidências deixadas no meio sem fio por roteadores

Os pontos de acesso *WiFi* anunciam sua presença através da transmissão de um tipo específico de quadro de gerenciamento, os *beacon frames*, que contêm parâmetros de configuração de rede, como o *Service Set Identifier* (SSID) e as taxas de dados suportadas. Os dispositivos móveis escutam *beacons* em canais 802.11 b/g/n e detectam passivamente *Access Points* (*APs*) próximos. A taxa de envio de *beacon frames* depende da velocidade de descoberta de rede desejada e do *overhead* de largura de banda considerado aceitável. A maioria dos *APs* define um intervalo de *beaconing* de cerca de 100 ms. Os dispositivos móveis podem responder aos *beacons* com quadros de associação *WiFi*.

Os quadros *beacons* são transmitidos no meio sem fio sem qualquer tipo de proteção, podendo qualquer cliente de rede sem fio inspecioná-los. No caso dessa

inspeção ser feita por aparelhos celulares é necessária a utilização de uma API oferecida pelo sistema operacional móvel, seja Android, iOS, ou outros.

2.8.Evidências deixadas no meio sem fio por clientes

Além da descoberta passiva, os dispositivos móveis podem descobrir proativamente os APs enviando quadros de gerenciamento de solicitação de sondagem (*probe requests*) em canais 802.11 b/g/n. Os *probe requests* incluem um identificador exclusivo do dispositivo, o endereço MAC, as capacidades de um dispositivo (por exemplo, padrões suportados 802.11) e podem ser direcionados para um AP específico (indicando seu SSID) ou transmitidos para todos os APs dentro do alcance, conforme ilustrado na *Figura 7*.

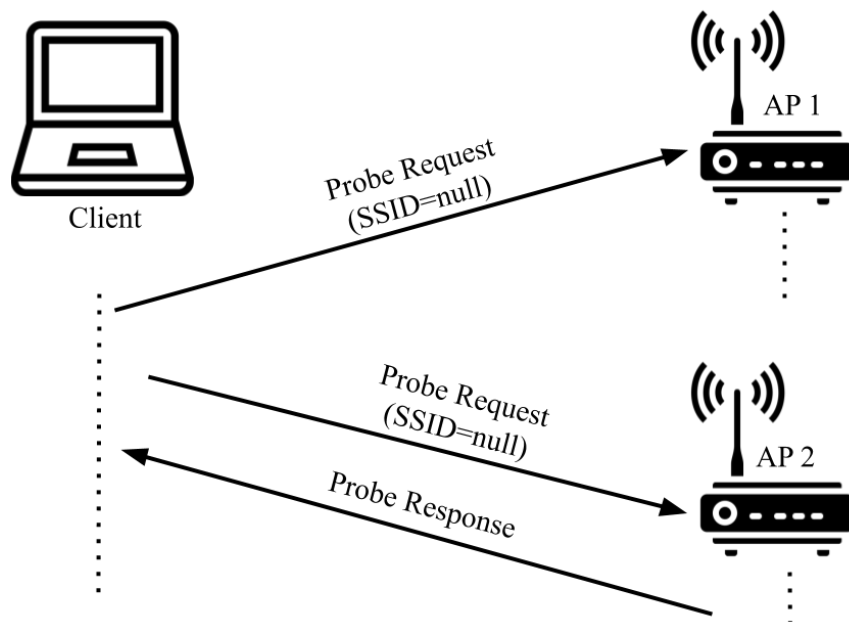


Figura 7. Fluxo de transmissão de *Probe Requests* (adaptado de OLIVEIRA et al., 2019)

A *Figura 7* ilustra um típico caso de descoberta de redes sem fio feita por um cliente *WiFi*. Conforme ilustrado na imagem, o cliente que está a esquerda, transmite um quadro de *Probe Request*, essa transmissão é feita em *broadcast* e qualquer roteador pode respondê-la. No exemplo, um dos roteadores responde à essa requisição com um quadro de *Probe Response*. Nessa abordagem, o cliente de rede sem fio, que pode ser por exemplo, um notebook, celular ou impressora, tem condições de inventariar as redes sem fio que estão sob seu alcance.

A abordagem que consiste no envio de *beacon frames* pelos roteadores pode ser considerada lenta e com elevado consumo energético, visto que os clientes precisam manter o rádio ligado por boa parte do tempo. Já no paradigma em que os celulares enviam requisições de *probe*, tais aparelhos precisam manter o rádio ligado por apenas alguns milissegundos, pois esse é o tempo gasto para que uma resposta de *probe request* seja recebida. Por ser um paradigma em que o cliente provoca os *APs* a se manifestarem a respeito de sua existência, todo o processo acaba ocorrendo também de forma mais rápida. O paradigma de *probe requests* possui a vantagem de também ser a única alternativa para conexão à redes sem fio ocultas, tais redes não enviam quadros de *beacon*. Por essas vantagens, o mecanismo ativo de varredura de redes através de requisições do tipo *probe* é amplamente utilizado por aparelhos que implementam funcionalidades de um cliente de rede sem fio, como smartphones, tablets, notebooks, dentre outros.

Outro tipo de evidência deixada no meio sem fio por clientes são os quadros do tipo *Null Data Frame*, (NDF). Diferentes dos *probe requests*, que são transmitidos mesmo quando o cliente não está associado, os NDFs são transmitidos apenas quando o cliente está associado a um ponto de acesso. Apesar de não estarem explicitamente definidos no padrão IEEE 802.11, em implementações reais os quadros NDFs são transmitidos por clientes sem fio em algumas aplicações, como: gerenciamento de energia, varredura de canais e manutenção da associação (GU et al., 2010). Um cliente sem fio envia um NDF para um ponto de acesso quando deseja entrar no modo de economia de energia, ou *Power Save Mode* (PSM). Quando um cliente está em PSM o ponto de acesso deve enfileirar os quadros destinados à esse cliente, e aguardar que o mesmo retorne do estágio de economia de energia para que os quadros sejam enfim transmitidos. No contexto de varredura de canais, quando um cliente está associado a um AP, antes de iniciar o processo de varredura ativa ele envia um NDF para o ponto de acesso, sinalizando que ele ficará indisponível para recepção de quadros por algum período de tempo. Esse processo é necessário, pois enquanto um cliente está fazendo a varredura ativa de canais ele não é capaz de receber quadros do ponto de acesso. Para prevenir a perda de quadros os clientes implementam esse mecanismo de proteção. Imediatamente após a finalização do processo de varredura de canais, o cliente sem fio informa ao ponto de acesso que está apto novamente para a recepção de quadros. Outra aplicação, ocorre quando um cliente deseja manter sua associação ativa mesmo quando está um logo período de tempo ocioso.

Capítulo 3 –Trabalhos Relacionados

A revisão de literatura científica acerca de iniciativas já propostas pela comunidade científica que se relacionam com aspectos abordados nessa tese será apresentada em duas seções. Na Seção 3.1 serão apresentados trabalhos de pesquisa que abordem a detecção de presença voltada à monitoração do tempo de espera no atendimento a serviços. Em seguida, na Seção 3.3 serão mencionados alguns trabalhos que abordem a detecção da presença através de evidência deixadas no meio sem fio.

3.1.Revisão de literatura de iniciativas específicas para monitoração do tempo de espera

Existem vários estudos dedicados a detectar e monitorar o tempo de espera em vários tipos de serviços ao cliente. Essas abordagens se dividem em duas grandes categorias. A primeira categoria, é composta por soluções ditas infraestruturadas, que geralmente envolvem algum tipo de ação por parte dos administradores do estabelecimento, seja para a implantação de dispositivos físicos ou softwares necessários. A segunda categoria, consiste em iniciativas não-infraestruturadas. Essas iniciativas usam geralmente os smartphones dos usuários do serviço. Algumas das abordagens não-infraestruturadas fazem uso de forma oportunística de dispositivos já instalados nas propriedades, mas como não requerem nenhuma intervenção dos administradores do estabelecimento, elas ainda são consideradas não-infraestruturadas.

De acordo com esta pesquisa, a primeira solução baseada em tecnologia para tratar a questão de monitoração do tempo de espera foi proposta por (BRAAKSMA, 1976), que concebeu, implementou e avaliou o uso de cartões carimbados com data e hora para a monitoração do tempo de espera. Esses cartões carimbados com data e hora foram distribuídos aos passageiros em um aeroporto quando eles ingressaram em uma fila e foram recolhidos ao saírem dela, e assim foi possível estudar as tendências das filas de espera no aeroporto. Outros autores atacaram esse tipo de problema usando imagens de câmeras de vigilância das propriedades (AUBERT, 1999). Embora sejam razoavelmente eficientes, sua implantação é difícil, devido ao elevado custo e aos problemas de privacidade envolvidos.

Outros tipos de sensores com custos mais baixos também foram pesquisados, como sensores infravermelhos (STILLA et al., 2004), sensores em tapetes (BAUER;

RAY; SEER, 2011), Bluetooth (BULLOCK et al., 2010) e *WiFi* (WANG et al., 2014). Em todos esses exemplos, é necessário comprar equipamentos, ou pelo menos a instalação de software em dispositivos pré-existentes na propriedade. Todas essas iniciativas acabam por não ser muito efetivas, exceto quando a administração do estabelecimento possui interesse ou é obrigado por lei a monitorar o tempo de espera de seus clientes. A resistência dos proprietários na adoção de iniciativas para monitorar o tempo de espera em filas já foi discutida em (OLIVEIRA et al., 2015a, 2016), e geralmente está associada ao risco de publicidade negativa em caso de elevados tempos de espera.

Supondo que a iniciativa para a solução deste problema não será fornecida pelos proprietários, cabe aos membros da sociedade propor soluções para esse problema. As principais características dessas iniciativas é que elas podem ser realizadas sem intervenção ou suporte dos proprietários ou administradores dos estabelecimentos. O empoderamento da sociedade para resolver esse problema é feito através de iniciativas de multidão através de smartphones. Essa revisão de literatura buscou levantar propostas para monitoração do tempo de espera que se utilizam do potencial da multidão. Foram encontradas onze propostas, incluindo o Demorô, proposto por este autor.

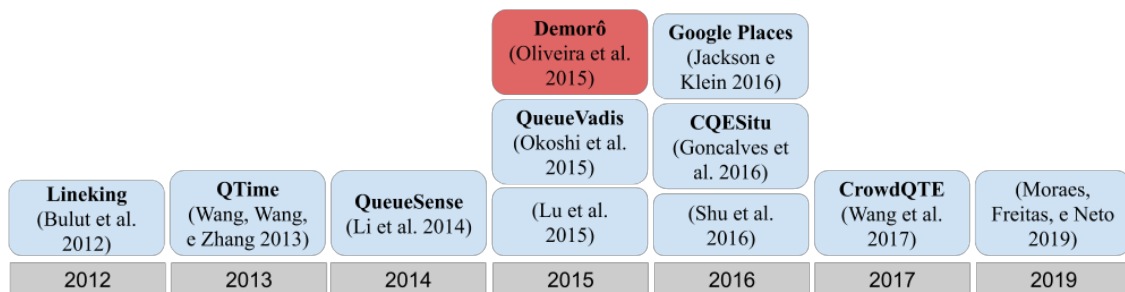


Figura 8. Cronologia das iniciativas de monitoração do tempo de espera
(elaborada pelo próprio autor)

O primeiro trabalho com esta abordagem foi o aplicativo Lineking (BULUT et al., 2012), que apresenta uma proposta capaz de detectar o tempo de espera total, através do uso orquestrado de dois componentes: o sensor de redes sem fio, *WiFi*, e o sensor de localização. O sensor *WiFi* detecta a presença do usuário na propriedade através de um evento emitido pelo sistema operacional do celular quando uma rede sem fio específica está disponível nas proximidades do aparelho celular. Por outro lado, o sensor de localização, buscando a eficiência energética, usa informações de localização obtidas a partir de torres celulares, pontos de acesso sem fio e GPS. As principais contribuições

deste trabalho são a proposição de modelos matemáticos que podem prever o tempo de espera (mesmo sob a condição de amostras insuficientes) e o mecanismo energeticamente eficiente de detecção de espera.

A principal limitação deste estudo reside no fato de que ele foi projetado e avaliado em condições específicas de um estabelecimento. Por exemplo, a remoção de amostras indesejadas relatadas pelos usuários (pontos fora da curva) foi feita de forma muito simplista, com base em observações específicas cafeteria estudada no artigo. Os autores deste trabalho publicaram um estudo resumido (BULUT; DEMIRBAS, 2014) que, em vez de detectar o tempo de espera, tratava de detectar o comprimento das filas. Este mecanismo se beneficia das informações obtidas do acelerômetro do celular, para classificar o estado atual do usuário dentro de uma máquina de estado especificada pelos autores. O comportamento dos usuários em uma fila é classificado como "parado", "andar em baixa velocidade" e "andar em velocidade normal". Ao analisar os dados que refletem a transição entre esses estados, é possível detectar quantas vezes o usuário avançou em uma fila; e também quando o usuário deixa a fila, sendo então possível estimar também a quantidade de posições da fila. Uma avaliação preliminar mostrou que a precisão do mecanismo é entre 2-3 pessoas em erro absoluto.

O QTime (Wang et al., 2013) é uma iniciativa especialmente desenvolvida para monitorar o tempo de espera em filas de supermercado. Como também mencionado em outras iniciativas, ele também faz uso do sensor de *WiFi* e acelerômetro, porém a sua especificidade está no uso do microfone para captura de som ambiente. Através da captura de sons característicos do caixa (impressoras e leitores de código de barras) o mecanismo consegue inferir a proximidade do momento em que o usuário será atendido. O tempo de espera é calculado principalmente com o reconhecimento de padrões do som dessas máquinas de supermercado. Dados do experimento feito pelo autor indicam que a acurácia do mecanismo de estimativa de espera varia entre um patamar de 60% e 80%.

O trabalho de (LI et al., 2014) extrai dados do comportamento das filas e as classifica a partir de dados compartilhados pelos usuários. As filas são classificadas através da similaridade ou disparidade de movimentação das pessoas que estão na mesma fila ou em filas diferentes. São utilizados dados colhidos de diversos sensores, para detecção do movimento é utilizado o acelerômetro, para direção é utilizada a bússola, para medir o deslocamento é utilizada uma combinação de acelerômetro e bússola, e por fim, para medir a distância entre pares é utilizado o nível de intensidade do sinal Bluetooth.

O QueueVadis (OKOSHI et al., 2015), é uma ferramenta de sensoriamento participativo que, em primeiro lugar, auxilia o usuário a identificar episódios de espera individuais em uma fila. Em seguida, usa informações relatadas por vários usuários para separá-las em filas diferentes e também para inferir estatísticas e estimativas sobre elas. A proposta é capaz de fornecer estimativas úteis mesmo quando a porcentagem de participação no sistema é de 10%. A principal contribuição deste trabalho é a proposta de um sistema de desambiguação, que é capaz de identificar as pessoas que estão na mesma fila através da análise da trajetória que eles seguem ao avançar posições na fila. O autor argumenta que seu mecanismo pode ser incorporado como um componente em aplicativos corporativos de estabelecimento comerciais, de modo que os administradores possam detectar e compensar de alguma forma os usuários que experimentaram elevados tempos de espera.

O estudo (LU et al., 2015) consiste em uma solução para detecção de filas de motoristas e de passageiros de táxi. No lado dos motoristas de táxi, um terminal móvel disposto em cada veículo envia periodicamente suas informações de disponibilidade, localização e velocidade instantânea. No lado dos passageiros, um aplicativo que coleta informações do acelerômetro também compartilha esses dados com um *backend* que agrega a informação recebida de ambos os lados. Os autores tiveram acesso às informações enviadas automaticamente pelos módulos instalados em 15.000 táxis de Cingapura. Em ambos os casos, a detecção de filas ocorre monitorando aglomerações na vizinhança de pontos de táxi conhecidos. O estudo não pretende prever o tempo de espera em nenhuma das duas filas (motoristas de táxi e passageiros de táxi).

Em 2016 o Google também lançou um recurso em seu serviço Google Maps para fornecer uma série temporal sobre a popularidade de estabelecimentos. O Google Places Popular Times (Jackson et al., 2016) se utiliza de informações colhidas dos aparelhos celulares de usuários que habilitaram a funcionalidade de histórico de localização. O serviço exibe um histograma não quantificado com a frequência relativa do fluxo de pessoas em função da hora do dia, comparada a dados históricos do estabelecimento. Essas informações são exibidas apenas em estabelecimentos que possuem uma massa crítica mínima de dados. Em estabelecimentos em que o fluxo de dados recebido é intenso o serviço exibe ainda a informação em tempo real do nível de ocupação do local.

O trabalho de (GONCALVES et al., 2016) critica algumas alternativas para a detecção automática de tempos de espera e defende sua proposta em que os próprios usuários relatam a quantidade de tempo gasto em esperas, desde que seja feito com pouco

esforço. Os autores descrevem uma experiência na qual os quiosques interativos instalados em quatro restaurantes de um campus universitário, onde as pessoas preencheram suas estimativas do tempo decorrido até o momento. Esta proposta é um exemplo de uma iniciativa de crowdsourcing mesmo em um paradigma infraestruturado. O principal problema dessa abordagem é a necessidade de que os usuários informem o tempo de espera manualmente em quiosques espalhados pelo campus.

Na abordagem proposta em (SHU et al., 2016), o sensoriamento funciona sem o uso específico de aplicativos instalados em dispositivos, mas através da trilateração de sinais *WiFi*: desta forma, é possível definir a localização de um determinado indivíduo dentro de uma área delimitada. O experimento foi realizado na área de espera no portão T3-C do Aeroporto de Beijing, monitorando essa área específica, a fim de obter o número de pessoas em espera (neste caso não necessariamente na fila, mas na área de espera). A previsão do número de pessoas em espera teve um erro absoluto médio de 27%, quando comparado com observações visuais feitas pelos pesquisadores.

A iniciativa CrowdQTE (WANG et al., 2017) é uma evolução do QTime e implementa uma abordagem de sensoriamento híbrido, com características oportunistas (monitoramento de movimentação com acelerômetro e sons ambientais característicos, combinados para determinar o estado atual da fila) e também informações colaborativas (através de questionamento direto ao usuário sobre o status atual da fila). A aplicação decide a forma de sensoriamento utilizada em função de informações de metadados do estabelecimento. Em estabelecimentos em que a espera se dá através da recepção de um ticket e o uso de uma sala de espera, os usuários são convidados a reportar a espera manualmente. No entanto, em cenários que o usuário espera em uma fila convencional o sensoriamento é feito de forma oportunística. Assim como reportado por (WANG; WANG; ZHANG, 2013) o CrowdQTE também se beneficia da inspeção do som em supermercados, diferenciando o padrão de som de quando o usuário está escolhendo produtos, do som percebido quando o usuário está se aproximando da fila do caixa. Uma deficiência dessa iniciativa é que eles assumem necessariamente que o celular esteja no bolso do usuário para que a monitoração dos dados do acelerômetro ocorra da forma esperada. Essa é uma limitação importante, pois em muitos casos as pessoas podem utilizar o celular durante o período de espera em fila.

A iniciativa proposta por (Moraes et al., 2019) é experimentada no contexto real de um pequeno mercado. O autor apresenta resultados de uma simulação em que verifica a precisão da estimativa, mesmo quando em cenários de baixo nível de colaboração. Os

resultados indicaram que em um cenário de baixa colaboração, em que 20% dos ocupantes da fila compartilhassem dados, seria possível obter resultados semelhantes aos obtidos em um cenário de alto percentual de colaboração, cerca de 30% ou mais. Essa proposta apresenta duas abordagens, uma em que o usuário insere manualmente, de forma participativa, o momento de chegada e saída da fila, e uma segunda abordagem onde esses dados são combinados com as leituras do GPS. Uma deficiência dessa iniciativa é a ausência de um mecanismo para detecção automática da espera. Esse tipo de característica exige um nível de engajamento bastante alto dos usuários da aplicação.

As observações sobre cada uma das iniciativas estudadas nessa revisão de literatura foram sintetizadas na Tabela 2.

Tabela 2. Revisão de literatura de iniciativas da monitoração do tempo de espera

Iniciativa	Sensores	Plataforma	Tipo de Fila	Características
Lineking (BULUT et al., 2012)	GPS e WiFi	App	Fila em pé	Não possui participação social e possui decisões de projeto baseadas em cenário muito específico
QTime (Wang et al., 2013)	GPS, WiFi, Microfone e Acelerômetro	App	Fila em pé	Especialmente projetado para filas de supermercado
Queuesense (LI et al., 2014)	Acelerômetro, Bússola e Bluetooth	App	Fila em pé	Não leva em consideração a participação dos usuários
Demorô (OLIVEIRA et al., 2015)	GPS, WiFi, Acelerômetro e Participação do Usuário	App	Qualquer tipo de fila	Combina as potencialidades da detecção automática de espera com a participação e engajamento do usuário
QueueVadis (OKOSHI et al., 2015)	Acelerômetro e Bússola	App	Fila em pé	Não leva em consideração a participação dos usuários
Google Places Popular Times (Jackson et al., 2016)	GPS	App	Esperas presenciais	Não exibe informação quantificada e não distingue o tempo de espera do tempo de estadia no estabelecimento
Uniqueue (GONCALVES et al., 2016)	Participação do Usuário	Quiosque	Esperas presenciais	Exige a implantação de uma infraestrutura específica
(SHU et al., 2016)	Trilateração WiFi	AP	Esperas presenciais	Exige e implantação de APs modificados. Estima o tempo permanência em uma região de esperas.
CrowdQTE (WANG et al., 2017)	GPS, WiFi, Microfone, Acelerômetro e Participação do Usuário	App	Qualquer tipo de fila	Não endereça aspectos de engajamento dos usuários
(Moraes et al., 2019)	GPS e Participação de Usuário	App	Esperas presenciais	Determina localização por GPS e solicita confirmação do usuário

3.2. Conclusões sobre a revisão de literatura de iniciativas específicas para monitoração do tempo de espera

Até o momento de escrita deste texto, foram feitas buscas no Google Play e na App Store para as aplicações Lineking, QTime, QueueVadis, QueueSense e CrowdQTE, mas estas não foram encontradas. A indisponibilidade das aplicações acima mencionadas inviabiliza sua avaliação por outros pesquisadores e dificulta também a realização de comparações.

O Demorô foi idealizado de forma independente em 2013 e teve seu desenvolvimento iniciado no ano de 2014. Em pesquisas realizadas no ano de 2013, ainda não tinha sido encontrada nenhuma proposta para atacar esse problema. O aplicativo Lineking, primeira proposta publicada para o problema, foi apresentado na 4ª edição da conferência MOBICASE, realizada em outubro de 2012. No entanto, existe uma latência para que os *proceedings* da conferência sejam publicados, o que ocorreu somente no ano de 2013, quando o artigo tornou-se acessível para comunidade científica. Com o passar dos anos, outras iniciativas foram surgindo, diferentes estratégias foram aplicadas, mas o problema ainda não foi resolvido de forma completa. Mesmo considerando a existência de outras iniciativas para o problema em questão, existe campo de pesquisa ainda para a proposição de soluções inovadoras. A proposta feita por este autor possui características únicas e contribuições importantes que serão descritas no Capítulo 4.

3.3. Revisão de literatura de iniciativas específicas para detecção de presença de pessoas através de evidências deixadas no meio sem fio

Nessa seção será feita uma revisão de literatura sobre algumas iniciativas para a detecção de presença de pessoas, de forma automática, através de evidências deixadas no meio sem fio, voltada à gestão de presença. Nesse trabalho consideramos aplicações em que se deseja detectar a presença de pessoas em espaços físicos de forma automática. Esse tipo de monitoração pode auxiliar empresas a compreender melhor o perfil e o padrão de comportamento, de forma não individualizada, de frequentadores de infraestruturas comerciais. Um estabelecimento comercial pode ter interesse de estimar a quantidade de pessoas que entraram em seu espaço físico, para dentre outras coisas, comparar com a

quantidade de pessoas que fizeram ao menos uma compra, e com isso conhecer a sua taxa de retenção dentro de uma loja. Além da informação quantitativa global, gestores podem desejar conhecer o perfil das pessoas que frequentam seu estabelecimento, ou mesmo das pessoas que apenas passam em frente sem acessar o prédio. Em feiras de eventos em que empresas apresentam em stands as informações mais atualizadas a respeito de seus produtos, pode ser de grande valia para os organizadores e expositores do evento, conhecer o padrão de movimentação das pessoas, e com isso saber quais foram os stands mais visitados. O tipo de informação coletada poderia permitir inclusive a construção, em tempo real, de um mapa de calor expressando a concentração de pessoas em todas as áreas do evento. O mesmo tipo de informação também pode ser utilizada para o direcionamento de publicidade específica em função da presença de uma pessoa em uma localidade próxima.

Um tipo de aplicação bastante importante para esse tipo de monitoração é o dimensionamento de potência de sistemas elétricos sob demanda com o objetivo de redução de consumo de energia. Esse é um desafio enfrentado por gestores de prédios públicos e privados, e consiste em detectar horários específicos em que algum espaços estejam sendo subutilizados, e com isso dimensionar de forma apropriada, por exemplo, sistemas de iluminação, calefação e refrigeração de forma otimizada. É muito comum observar amplos ambientes em espaços corporativos com luzes ligadas, ou com aparelhos de ar-condicionado em pleno funcionamento sem que pessoas estejam no local, ou mesmo sem qualquer perspectiva de uso futuro em curto prazo. A realização desse tipo de monitoração pode permitir a descoberta de padrões de uso dos ambientes, de forma que seja possível além de detectar a não utilização do espaço no instante de tempo atual, afirmar também que esse espaço geralmente não é utilizado nesse dia da semana nas próximas horas, através da análise do perfil de uso do espaço nas últimas semanas ou meses.

Outro tipo de utilização provável para esse mecanismo é permitir melhor conhecimento do padrão de uso de sistemas de transporte. Em muitos sistemas de transporte, existe um controle de bilhetagem feito apenas no momento de embarque de passageiros, não existindo qualquer controle no desembarque. Na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, ao embarcar em um ônibus, você deve passar por uma roleta que é capaz de monitorar, no mínimo, a quantidade de pessoas que entram. Porém, nenhum tipo de controle é feito sobre as pessoas que desembarcam do ônibus, não é possível saber por exemplo, quantas pessoas que embarcam em um ponto X e desembarcam em um ponto

Y. O conhecimento das matrizes de origem e destino poderia auxiliar muito o planejamento de sistemas de transportes em grandes metrópoles pelo mundo.

Destacamos até aqui a aplicação desse mecanismo em três principais áreas: inteligência competitiva, otimização de uso de sistemas elétricos e planejamento de sistemas de transporte. A enumeração dessas áreas não tem por objetivo esgotar uma lista de possíveis aplicações, sendo da ciência desse autor que podem existir diversas outras aplicações para as informações coletadas.

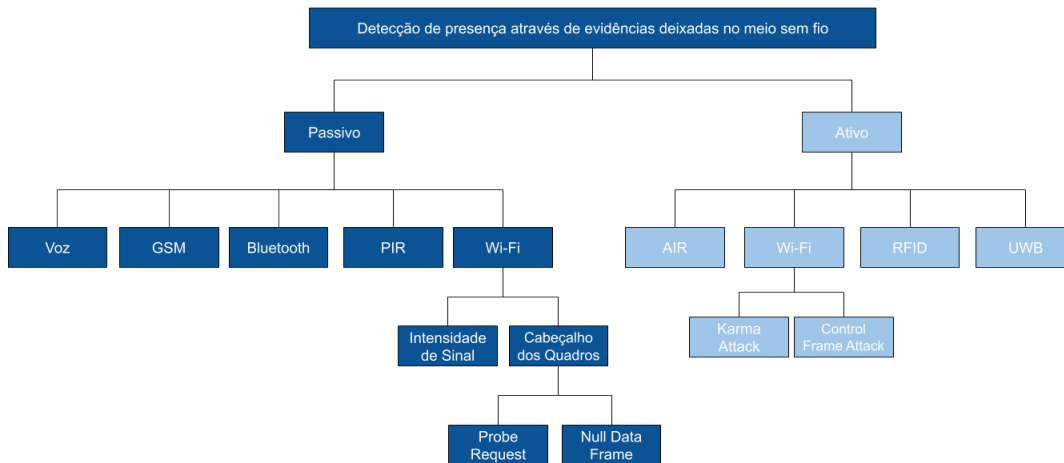


Figura 9. Taxonomia de iniciativas para detecção da presença de pessoas e dispositivos através de evidências deixadas no meio sem fio (elaborada pelo próprio autor)

A Figura 9 exibe uma taxonomia de iniciativas para a detecção da presença de pessoas e dispositivos através de evidências deixadas no meio sem fio. Essa taxonomia ilustra as diferentes abordagens que foram encontradas durante a fase de revisão de literatura. Em primeira instância, as abordagens são classificadas em passivas e ativas. As abordagens passivas escutam o meio sem fio em busca de evidências sem emitir nenhum novo sinal no meio. As abordagens ativas emitem sinais no meio para acionar mecanismos específicos nos receptores de forma a gerar as evidências. Nessa revisão de literatura nos limitaremos ao estudo das abordagens passivas.

3.3.1.Voz

Em (XU et al., 2013) é descrita uma abordagem para estimativa da quantidade de pessoas através da captura do som ambiente. Por se utilizar de evidências acústicas deixadas no meio, a abordagem é capaz de contar apenas as pessoas que estão falando.

Essa característica pode inviabilizar o seu uso em cenários em que as pessoas eventualmente podem permanecer em silêncio (estações de metrô, ônibus, teatro, etc).

3.3.2.GSM

Em (OTSASON et al., 2005) os autores propõem a monitoração dos sinais gerados pelo Sistema Global para Comunicações Móveis, *Global System for Mobile Communications* (GSM). Os autores propõem uma extensão do mecanismo padrão de localização GSM, que consiste na trilateração de sinais das torres de celulares. Diferente do método padrão de localização GSM que considera apenas as 6 células de maior sinal, no método proposto são consideradas todas as células com intensidade de sinal suficiente para serem detectadas, apesar de não terem intensidade de sinal suficiente para uma comunicação eficiente. De acordo com os experimentos, o mecanismo foi capaz de diferenciar os andares e ter uma precisão de 2.5m, mesmo em ambientes fechados. A abordagem possui duas limitações sérias: (i) a monitoração deve ser feita pelo próprio dispositivo que se deseja saber a posição; (ii) aparelhos celulares não estão preparados para retornar informações de intensidade de sinal de todas as células detectáveis. Para implementar tal mecanismo, poderiam ser necessárias mudanças no sistema operacional dos celulares e eventualmente até mesmo no hardware.

3.3.3.WiFi

A maior concentração de propostas para detecção de presença através de evidências deixadas no meio sem fio capturam os sinais gerados pelas redes *WiFi*. As abordagens dentro desta categoria foram divididas em duas classes. A primeira delas, considera apenas o uso do indicador de intensidade de sinal recebido, ou *Received Signal Strength Indication* (RSSI). Nesse tipo de abordagem, não são considerados os dados contidos no cabeçalho dos quadros. Dentro dessa classe, pode-se citar o trabalho (YOSHIDA; TANIGUCHI, 2015) que obteve boa acurácia na monitoração estimada da quantidade de pessoas, esse trabalho será utilizado para comparação de seus resultados com os resultados de monitoração estimada da quantidade de pessoas produzidos nesta tese. Na segunda classe, estão as iniciativas que consideram os dados contidos no cabeçalho dos quadros. Dentro dessa classe, as iniciativas encontradas utilizam predominantemente como evidências os quadros *Probe Requests* e em alguns casos os *Null Data Frames*, ambos descritos em maiores detalhes na Seção 2.8.

O artigo escrito por (FREUDIGER, 2015) tem por objetivo estudar aspectos comportamentais dos aparelhos celulares no que diz respeito a transmissão de *probes requests* e a exposição da privacidade dos usuários. Pesquisadores em trabalhos anteriores, (CUNCHE; KAAFAR; BORELI, 2012, 2014), identificaram riscos de privacidade associados a pedidos de sondagem *WiFi*, como vazamento de SSIDs já conectados pelos usuários. Apesar de vários esforços para desenvolver alternativas de preservação da privacidade, os dispositivos móveis modernos continuam expondo os SSIDs já utilizados pelos usuários durante pedidos de sondagem *WiFi*. No trabalho em questão, são quantificadas as ameaças dos pedidos de sondagem *WiFi* para a privacidade, realizando um estudo experimental dos smartphones mais populares em diferentes configurações. O objetivo dos autores é identificar como diferentes fatores influenciam na frequência de *probes* e o número médio de sondagens transmitidas. As conclusões são preocupantes: em média, alguns dispositivos móveis enviam pedidos de sondagem a uma frequência de 55 vezes por hora, revelando assim seu endereço MAC exclusivo em alta frequência. Caso um dispositivo móvel não esteja carregando a bateria e também não esteja no modo de suspensão, ele pode transmitir até 2000 *probes* por hora.

O trabalho de (LUZIO; MEI; STEFA, 2016), apresenta a ideia de capturar e ler os quadros de *WiFi Probe Requests* para desanonimizar a origem dos participantes em grandes eventos. Os autores coletaram cerca de 11 milhões de registros de quadros de *probe requests* capturados em eventos de diferentes níveis de relevância realizados na Itália. Ao transmitir as requisições de *probes*, em muitos casos, os aparelhos celulares acabam citando em sua requisição o SSID de uma rede já conectada pelo usuário do aparelho celular. Essas redes são mantidas pelo aparelho celular em uma estrutura conhecida como *Preferred Network List*, ou PNL. Alguns aparelhos celulares, chegam a enviar diversas requisições seguidas expondo diversas redes já conectadas pelo usuário do aparelho celular. Capturando tais informações, é possível saber quais são as redes que os usuários presentes em determinado evento se conectam usualmente. Por si só, essa informação já seria suficiente para classificar a multidão de pessoas em grupos de indivíduos que frequentam os mesmos locais. Porém, os autores propuseram ainda cruzar esses dados com uma base de dados pública, que mapeia a localização geográfica de redes sem fio conhecidas. Um exemplo de base de dados pública com a função de armazenar

informações sobre redes sem fio em escala global é o Wigle.net³. O mapeamento dessas redes é feito de forma cooperativa por usuários voluntários, que instalam o aplicativo em seus celulares e ativam a varredura de redes sem fio com o respectivo upload dos dados para a base do Wigle.net. Sendo assim, conhecendo os endereços MAC dos aparelhos celulares que geraram as requisições de *probe*; conhecendo as redes sem fio que tais usuários frequentemente se conectam; e conhecendo a localização geográfica de tais redes; é possível então saber qual é a proveniência das pessoas que estão presentes em um determinado evento público. Os experimentos conduzidos pelos autores, mostraram ser possível explorar as informações semânticas trazidas pelas requisições de *probe requests*, para descobrir com alta precisão, a proveniência das multidões em cada evento. Em particular, o resultado de desanonimização de duas reuniões políticas realizadas alguns dias antes das eleições na Itália, que coincidem surpreendentemente com os resultados oficiais da votação relatados.

Em (HONG; DE SILVA; CHAN, 2018) os autores propõem o uso de monitores passivos para monitoração de evidências *WiFi* em um museu para extrair informações sobre o comportamento de seus visitantes. Foram coletados mais de 1,7 milhões de *probes* durante os seis meses de captura. Os autores obtêm resultados promissores a respeito da trajetória dos visitantes, conhecendo alguns padrões de comportamento de seus visitantes.

Em (HONG; LUO; CHAN, 2016) é apresentado um mecanismo para detectar a interação social de pessoas, através de evidências deixadas no meio sem fio por redes *WiFi*. Para isso, utilizam os *probes requests* para detectar aparelhos não associados a uma rede, e *null data frames* para detectar os que estão associados. O artigo apresenta técnicas para identificação da co-localização, quando dois ou mais aparelhos celulares estão muito próximos um do outro. Com uso dessas técnicas os pesquisadores obtiveram bons resultados para a estimativa do tamanho de grupos de pessoas em um refeitório da universidade. Através dos resultados foi possível observar padrões de comportamento sobre a formação de grupos nas diferentes refeições do dia: café da manhã, almoço, café da tarde e jantar.

³ <https://wagle.net/>

3.3.4. Bluetooth

Em (WEPPNER; LUKOWICZ, 2011) é apresentada uma solução que consiste na varredura do meio sem fio em busca de dispositivos Bluetooth visíveis para determinação da densidade de pessoas em um ambiente. Os pesquisadores desenvolveram uma simples aplicação que realiza continuamente varreduras em busca de dispositivos Bluetooth ao seu redor. As pessoas envolvidas na tarefa de sensoriamento da multidão devem caminhar ao redor da área a ser monitorada portando o aparelho celular com a aplicação de varredura em execução. Essas informações colhidas por múltiplos smartphones são armazenadas localmente e depois enviadas para um servidor, onde são processadas. Além de considerar o número de dispositivos encontrados os autores avaliam também a variação da intensidade do sinal recebido. O processamento consiste em classificar uma determinada área em uma das quatro diferentes classes de densidade de pessoas, da menor densidade (0.1 pessoa por m²) até a de maior densidade de pessoas (0.4 pessoa por m²). Em experimento realizado na *Munich Oktoberfest* os autores relataram obter 80% de acurácia no reconhecimento da classe de densidade de pessoas.

3.3.5. PIR

Os sensores de presença do tipo *Pyroelectric Passive Infrared* (PIR) são amplamente utilizados em aplicações comerciais para detectar a presença de indivíduos e acionar alarmes. O seu funcionamento parte do princípio que todos objetos que estejam em temperatura acima do zero absoluto emitem energia térmica na forma de radiação. Essa radiação é invisível aos olhos humanos pois é emitida em comprimentos de onda na faixa do infravermelho. Apesar de invisível aos olhos humanos, essa radiação pode ser facilmente detectada por sensores PIR. Esses sensores são equipados com uma lente Fresnel que condensa a radiação infravermelha de um amplo campo de visão em uma pequena área onde encontra-se o sensor. Quando um objeto se move, ocorre uma variação na radiação infravermelha percebida pelo sensor o que pode desencadear no acionamento de um gatilho configurável. Esse tipo de sensor quando utilizado isoladamente é capaz de detectar apenas se existe sim ou não um objeto se movendo em suas proximidades, não sendo capaz por exemplo de detectar a quantidade de pessoas em um ambiente.

Em (ZAPPI; FARELLA; BENINI, 2007) propõem o uso de uma rede de sensores PIR capaz de extrair informações mais detalhadas sobre o ambiente monitorado, direção

dos movimentos, velocidade, número de pessoas e outras características. Nessa proposta, o campo de visão do sensor é reduzido através de alterações feitas na lente. Os sensores PIR alterados são dispostos em linha em ângulos complementares e interligados através de uma rede Zigbee (ALLIANCE, 2005). Experimentos foram realizados para medir a direção e a quantidade de pessoas que passavam por um portão. Os resultados indicaram que o mecanismo identificou a direção de movimentação corretamente em todos casos. No que diz respeito a detecção do número de pessoas que passavam pelo portão o mecanismo obteve 98,3% de acurácia quando as pessoas passavam em linha pelo portão, e 75% de acurácia quando passavam lado a lado. Apesar dos promissores resultados o mecanismo é capaz de detectar apenas pessoas que passam por um portão, não sendo capaz por exemplo de estimar a quantidade de pessoas em repouso em um ambiente.

3.4. Conclusões sobre a revisão de literatura de iniciativas específicas para detecção de presença de pessoas através de evidências deixadas no meio sem fio

A investigação da literatura em busca de trabalhos relacionados ao produzido nessa tese foi capaz de demonstrar que existem diversas abordagens para a detecção de presença de pessoas em ambientes. Nenhuma das técnicas estudadas mostrou-se capaz de detectar a presença ou estimar a quantidade de pessoas de forma plena. Cada uma das abordagens possui características que as qualificam como promissoras em um cenário e inadequadas em outros. As abordagens que se utilizam da voz para monitorar a quantidade de pessoas são capazes de detectar apenas pessoas falantes, a abordagem GSM necessita de acesso ao aparelho celular, além de modificações no sistema operacional e hardware. O uso de redes Bluetooth para detecção de presença também pode ser difícil devido ao pequeno raio de alcance geralmente observado nessas redes. Na iniciativa estudada, os pesquisadores tiveram que caminhar pela área monitorada para conseguir detectar dispositivos, não sendo interessante em cenários em que deseja-se manter os sensores em posicionamento estático. Os sensores de PIR são capazes de detectar a presença apenas de pessoas que estejam em movimento, não sendo capaz de detectar presença de pessoas em escritórios ou outros ambientes em que as pessoas estejam em repouso. Além disso, sensores PIR podem ser afetados por correntes de calor, geralmente geradas por sistemas de aquecimento, que acarretam na ocorrência de falsos positivos.

Por fim, as soluções *WiFi* foram as que se mostraram mais promissoras. Dentre as soluções *WiFi* pesquisadas, apenas uma delas se propôs a estimar a quantidade de pessoas, essa iniciativa será utilizada para comparação dos resultados obtidos nessa tese. A pesquisa em busca de trabalhos relacionados motivou esse pesquisador a desenvolver um dispositivo e uma metodologia para a detecção de presença e monitoração da quantidade estimada de pessoas e dispositivos, que será descrita no Capítulo 5.

Capítulo 4 –Cenário de aplicação: monitoração do tempo de espera em atendimento a serviços públicos e privados

Nesse capítulo serão explorados aspectos relativos as QP1, relativa ao problema de detecção de presença aplicada a cenários onde é importante monitorar o tempo de espera. Essa monitoração será feita através de um aplicativo móvel, chamado Demorô, proposto no escopo dessa tese. Iniciando pela Seção 3.1 até a Seção 3.5 será apresentado um conjunto de pesquisas para coleta de opiniões a respeito do problema de filas no atendimento a serviços. Esse estudo compreendeu a realização de pesquisas de opinião, em sites de reclamações, entrevistas com atores em potencial, e por fim uma nova consulta ao público para validação dos requisitos obtidos. Na Seção 3.6 será descrito em detalhes o mecanismo projetado para o Demorô de detecção automática de eventos de espera. Na Seção 3.7 são discutidos aspectos essenciais da implementação do protótipo do aplicativo Demorô. Por fim, na Seção 3.8 são apresentados os experimentos e resultados da validação do mecanismo de detecção automática de esperas.

4.1. Metodologia da pesquisa

O surgimento de sistemas de computação social e de multidão mudou a paisagem da pesquisa em CSCW e HCI (*Human Computer Interaction*). O sucesso de sistemas como Wikipedia, Facebook, Digg, Amazon MTurk, Google Waze e outros ilustram apenas algumas das rupturas de paradigmas que esta tecnologia emergente pode causar, e a gama de problemas que pode resolver. A estratégia de alavancar multidões para resolver problemas não triviais tem sido investigada nos últimos anos por vários grupos de pesquisa em todo o mundo (SCHNEIDER, 2015).

No entanto, os projetistas de aplicações convencionais não possuem experiência prática para construir esses tipos de sistemas, bem como como lidar com questões como atrair e manter a participação dos usuários. Neste contexto, o projeto Demorô foi conduzido sob a perspectiva da pesquisa através da metodologia *action design research*, ou ADR, onde os protótipos especulativos são construídos como uma maneira de aprender a conceber esse tipo de sistema. Nossa pesquisa seguiu as diretrizes da

metodologia ADR, uma combinação de pesquisa através de design e pesquisa-ação, caracterizada por um processo cíclico no qual construção, intervenção e avaliação estão fortemente interligados (SEIN et al., 2011). Assim, o desenvolvimento deste projeto seguiu as principais etapas do ADR que são: 1) formulação do problema; 2) construção, intervenção e avaliação; 3) reflexão e aprendizagem; e 4) formalização da aprendizagem. Esta abordagem nos permite criar um artefato tecnológico que pode melhorar sua eficiência através dos vários ciclos de projeto e construção.

4.2. Pesquisa de Opinião

Para ter uma percepção inicial do problema, uma questão importante é saber em que áreas os usuários são mais afetados quanto ao tempo de atendimento para a prestação de serviços. Uma metodologia para resolver ou mitigar esse problema deve levar em consideração esta informação. Para esse fim, realizou-se no âmbito deste trabalho uma pesquisa em setembro de 2014 distribuída por e-mail e redes sociais para a lista de contatos do autor. Os entrevistados responderam a seguinte pergunta:

"Quais são os lugares ou serviços que você enfrenta mais filas ou algum tipo de espera para ser atendido?"

Os entrevistados foram convidados a marcar uma até três opções de um conjunto de sete categorias pré-definidas. As alternativas foram sempre mostradas em ordem aleatória, o que deu condições iguais para a seleção de categorias. Foram apresentadas as seguintes opções para cada um dos entrevistados:

- Cuidados de saúde;
- serviço de atendimento ao cliente, SAC;
- Serviços bancários;
- Serviços de transporte público;
- Restaurantes;
- Serviços de entrega;
- outro;

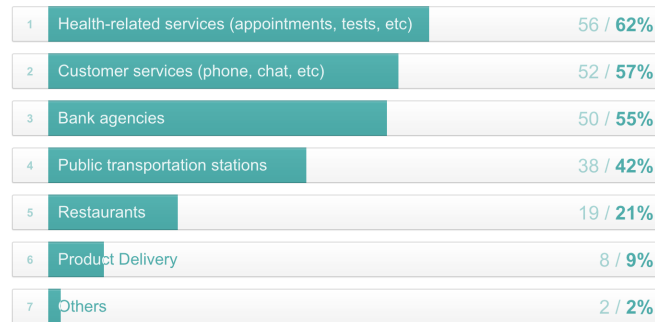


Figura 10. Pesquisa de categorias de estabelecimento com maior frequência de esperas relatados (adaptado de OLIVEIRA et al., 2015)

Ao todo, noventa e duas pessoas responderam ao questionário, como pode ser visto na *Figura 10*: 62% das pessoas relataram enfrentar longos períodos de espera para durante provisão de serviços de saúde, que é a mais citada pelas pessoas, seguidas dos serviços de atendimento ao cliente (57%), bancos (55%), estações de transporte público (42%), restaurantes (21%), serviços de entrega (9%) e outros (2%).

Quando a opção "Outro" foi selecionada, o usuário foi imediatamente solicitado a especificar esta opção. Dois entrevistados usaram essa funcionalidade e relataram enfrentar esperas em supermercados. Os **serviços de saúde** referem-se aos serviços prestados por hospitais, clínicas e laboratórios em consultas, exames e assim por diante. Os **serviços de atendimento ao cliente** geralmente estão relacionados aos centros de atendimento ao consumidor, como aqueles realizados por telefone, e-mail, bate-papo e outros.

Dentre os **serviços bancários**, pode-se citar principalmente o atendimento em caixas eletrônicos, caixas bancárias tradicionais ou atendimentos feitos por gerentes de contas. Para cada um desses serviços, pode haver filas de amplo acesso ou outras dedicadas a pessoas com necessidades especiais, idosos ou segmentos de clientes priorizados de acordo com sua graduação bancária.

A categoria de **serviços de transporte público** inclui serviços relacionados ao transporte de massa, como ônibus, metrô, trens, barcas e aviação civil. Exemplos típicos de problemas enfrentados pelos usuários desses modais são esperar em paradas de ônibus, estações de metro, barcas e outros. Os usuários do transporte aéreo muitas vezes enfrentam longas esperas para realizar procedimentos de check-in e despacho e retirada de bagagem.

Os **restaurantes** também são um tipo de lugar onde os usuários relataram enfrentar longos tempos de espera, e esses eventos são muitas vezes experimentados em

filas de pagamento, quiosques de autoatendimento, serviço de garçom, entrega de pratos solicitados ou solicitação de fatura para pagamento de serviços.

Nesta pesquisa, reunimos algumas categorias de locais prováveis onde relatos de longos tempos de espera podem ser enviados através da multidão. No entanto, ainda existem muitas outras categorias de lugares e classificações de espera não cobertas nesta lista inicial. A solução proposta neste trabalho considera essencial a capacidade de pesquisa por novas informações de lugares e filas fornecidas por usuários.

4.3. Pesquisa em sites de reclamações

Existem vários sites que recebem queixas de usuários sobre produtos e serviços, como Reclame Aqui, Reclamão, Denuncio, NuncaMais.net, Consumidor.Gov.Br e Procon SP. Alguns desses sites são criados pela sociedade civil e alguns outros por agências governamentais, como o Ministério da Justiça e fundações ligadas à proteção ao consumidor.

No Brasil, o mais popular desses sites é o Reclame Aqui, um site que permite pesquisar queixas e empresas por meio de palavras-chave. O site em questão recebeu 5 milhões de queixas apenas em 2013 e tem 320 mil acessos por dia, dos quais 20 mil para reclamações e 300 mil para pesquisas de empresas de renome.

Ao pesquisar este portal para termos relacionados ao atraso no tempo de serviço, no ano de 2014, obtiveram-se os seguintes resultados. Em busca do termo "fila", encontramos 1750 resultados, 310 destes em uma rede de *fast food*, 274 de uma rede varejista, 256 em uma rede de cinemas, 231 em uma rede de lojas de artigos esportivos, 227 em um Banco, e 224 em um parque de diversões e outros estabelecimentos.

Ao buscar os termos "atraso" e "espera", encontramos 30.627 e 17.562 resultados, respectivamente. A maioria está relacionada a atrasos na chamada de telemarketing, processamento de pedidos e entrega de produtos comprados em lojas online. Eles geralmente são direcionados para as empresas responsáveis pelos produtos, mas outros são direcionados para operadoras.

Os sites de reclamações têm um papel muito importante na mediação de consumidores e prestadores de serviços e podem ser usados para resolver problemas de maneira geral. No entanto, esta abordagem geral é insuficiente para lidar com problemas de tempo de espera. Esses sites não são capazes de fornecer indicadores para os tempos de espera médios para cada um dos serviços fornecidos pelas empresas.

Assim, a proposição de alternativas para resolver esse problema permanece aberta. Neste capítulo, especificaremos um sistema que seja capaz de receber informações relacionadas ao tempo de espera dos serviços do dia-a-dia. Este sistema deve poder retornar métricas de qualidade ao usuário para o tempo necessário para ser atendido em tempo real, bem como dados históricos.

4.4. Entrevistas com as partes interessadas

No escopo dessa pesquisa foi realizado uma série de entrevistas com as partes interessadas em monitoração do tempo de espera. Esses perfis foram selecionados por estarem associadas aos locais de esperas mais frequentemente reportados nas seções 4.2 e 4.3. Essas entrevistas foram fundamentais para uma percepção ampliada do problema e permitiu gerar uma lista de requisitos para uma iniciativa que se proponha monitorar o tempo de espera. Um formulário foi criado e divulgado a novos voluntários que classificaram os requisitos em níveis de prioridade. Esse trabalho de pesquisa foi reportado em maiores detalhes no Apêndice C. Nessa tese daremos atenção especial à funcionalidade de detecção automática de esperas, que será descrita na seção a seguir.

4.5. Mecanismo de detecção automática de espera

A arquitetura proposta nessa seção, consiste em embutir em um aplicativo um sensor de detecção automática de espera. Para efeitos desta pesquisa, uma espera é caracterizada em parte pela permanência de uma pessoa em um estabelecimento, e mais especificamente pelo intervalo de tempo em que ela está aguardando para o atendimento de uma demanda. O objetivo do sensor proposto por este autor em (OLIVEIRA et al., 2017a) é detectar automaticamente o instante mais próximo possível em que essa espera se inicia, e da mesma forma o momento em que ela se encerra.



Figura 11. Fluxo de trabalho do mecanismo de detecção automática de espera (adaptado de OLIVEIRA et al., 2017)

A detecção automática de esperas proposta nesse trabalho é feita em um processo realizado em até cinco etapas, conforme Figura 11. A primeira delas, consiste na detecção

da presença do usuário em um local qualquer. A próxima etapa, é responsável por detectar a permanência do indivíduo por um tempo mínimo, estipulado pela plataforma, nesse mesmo local. A terceira etapa, visa determinar se o local de permanência do usuário em questão é conhecido pela plataforma Demoro como um local de espera. Para realização dessa etapa, a plataforma conta com uma base de dados de locais em que usuários já relataram alguma espera no atendimento. Uma vez confirmadas as três etapas anteriores, é definido que se trata de um evento de provável espera. A quarta etapa é denominada como mecanismo de *Do Not Disturb*, e é responsável por realizar críticas definidas através de preferências do usuário antes de prosseguir para a próxima etapa. Por fim, a quinta e última etapa, consiste em uma confirmação explícita do usuário se ele está, ou esteve em um momento de espera. Cada uma dessas cinco etapas serão discutidas em detalhes nas seções a seguir.

4.5.1. Detecção automática de presença

A detecção de presença de um usuário em algum local é um tema antigo e com muitas soluções já estudadas. A detecção de presença pode ser feita através de técnicas que se utilizam de câmeras de vigilância (AUBERT, 1999), sensores no chão (BAUER; RAY; SEER, 2011), sensores infravermelhos (STILLA et al., 2004), Bluetooth (BULLOCK et al., 2010), *WiFi* (WANG et al., 2014) dentre outras propostas. A detecção de presença pode ter diferentes utilidades, como a possibilidade de permitir análises a respeito da frequência de pessoas em determinados locais, disparar alarmes em função da presença da pessoa em um determinado polígono georreferenciado, para auxílio na divulgação de informações específicas para pessoas que estejam em um determinado espaço geográfico, ou mesmo para servir de insumo na detecção automática de espera. Nesta seção, nos concentramos exclusivamente na última hipótese apresentada.

O sensor mais conhecido para determinação da posição do usuário em smartphones é o GPS. Porém esse sensor nem sempre está ativado, dentre outros motivos por possuir um elevado gasto energético da bateria do dispositivo (PAEK; KIM; GOVINDAN, 2010). Outra limitação dos sensores GPS é a sua ineficiência em ambientes indoor, como shopping centers, onde existe muita dificuldade para a recepção de sinal dos satélites geoestacionários necessários para a operação do sistema.

O mecanismo de detecção de espera proposto nesse trabalho utiliza de informações do dispositivo de redes *WiFi* presente em qualquer smartphone. Para

funcionamento do mecanismo é necessário que exista pelo menos um ponto de acesso no interior, ou nas proximidades do local que se deseja detectar automaticamente o evento de espera. Entende-se por ponto de acesso, qualquer dispositivo que ofereça uma rede *WiFi*, podendo ser um roteador ou até mesmo uma impressora *WiFi*. É muito importante ressaltar que não é necessário que o usuário tenha a senha da rede ou mesmo que esteja conectado a ela, bastando tão somente que a rede seja detectada pelo aparelho celular.

Para detecção de presença do usuário em um local qualquer, o aplicativo se beneficia de um processo já feito pelo celular, que é a varredura de redes sem fio. Ao término desse processo que é feito regularmente, é gerada uma lista com as redes sem fio encontradas ao alcance do aparelho celular. Nessa lista pode ser encontrado o nome da rede, também conhecido como SSID, o identificador único do ponto de acesso, que é denominado BSSID, a frequência de transmissão, o protocolo de autenticação e por último, a intensidade de sinal da rede sem fio. Essas informações são processadas e armazenadas para viabilização da próxima etapa.

4.5.2. Detecção automática de permanência

Como discutido na seção anterior, o mecanismo de detecção automática de espera possui em seu poder um histórico dos dados obtidos através das últimas varreduras de rede. Esses dados são coletados pelo aplicativo em intervalos regulares.

O mecanismo proposto nesta seção pode ser executado sobre diferentes valores de parâmetros. Um parâmetro bastante importante é o responsável por determinar qual é o tempo mínimo de permanência do usuário em um mesmo local para que esse evento seja considerado uma espera potencial. Esse parâmetro é chamado de **MinTimeWait**, e o seu valor tem impacto direto sobre a eficiência do mecanismo, seja no que diz respeito a detecção de falsos positivos ou seja na não detecção de eventos reais de espera. A permanência de um usuário em um mesmo local é caracterizada pela repetição de pelo menos um ponto de acesso em amostras espaçadas por no mínimo o tempo definido pelo parâmetro **MinTimeWait**. Quando essa condição ocorre é dito que foi detectada uma espera em potencial e a sua validação é descrita na subseção a seguir.

É muito importante ressaltar que a repetição do ponto de acesso é determinada através do BSSID da rede, que identifica univocamente o ponto de acesso. Essa verificação não poderia ser feita através do SSID, que é o nome público da rede, pois diversos roteadores pertencentes a uma mesma rede podem ter o mesmo valor de SSID e

estarem em diferentes localizações. Esse tipo de situação é muito comum em redes *WiFi* de longo alcance, em que o uso de um mesmo SSID permite que o aparelho celular faça handoff entre roteadores de forma totalmente transparente para o usuário.

4.5.3. Validação da espera potencial em função do local

A validação de uma espera em potencial pode ser feita de maneiras diferentes a depender de opções definidas pelo usuário. Um usuário pode solicitar que esperas potenciais sejam validadas apenas em locais em que ele próprio já reportou algum evento de espera, em locais em que qualquer usuário da plataforma já tenha reportado algum evento de espera, ou mesmo em um local qualquer. Esse parâmetro é chamado de **ValidationType**, e a variação do seu valor pode trazer impactos sobre a eficiência na detecção, ao volume de dados trafegados na rede, e o nível de cooperação do usuário com a plataforma.

A primeira opção minimiza o tráfego na rede e a possibilidade de perturbar o usuário sem necessidade, porém é incapaz de detectar espera em locais cujo usuário ainda não tenha reportado um evento de espera. A terceira opção, consegue resolver o problema de detectar espera em locais ainda não reportados pelo usuário, mas pode fazer com que um volume excessivo de requisições sejam feitas à rede e também possivelmente perturbar o usuário com falsos positivos com uma frequência indesejada. A segunda opção permite a detecção de espera em locais ainda não reportados pelo usuário em questão, mas é validada somente quando o local em questão já foi alvo de um evento de espera relatado por algum usuário da plataforma, incluindo o próprio usuário.

Cada vez que um usuário envia um relato de espera, o aplicativo Demorô coleta informações sobre quais redes sem fio estão ao alcance do celular no momento em que o relato foi feito, que ficam por sua vez associadas ao estabelecimento objeto do relato de espera. A lista de redes sem fio contém código de identificação do ponto de acesso e o nível de intensidade da rede. A medida que a plataforma recebe diversos relatos de espera de um mesmo estabelecimento é possível construir uma base sólida sobre quais são os pontos de acesso que estão mais próximos do estabelecimento em questão. Esse tipo de solução, permite que seja utilizado o conhecimento coletivo da comunidade, que através de um trabalho cooperativo feito pela multidão, é capaz de mapear locais potenciais em que a permanência de um usuário caracteriza de forma bastante segura um evento real de espera.

Diversas propostas tentam detectar o evento de espera através do comportamento do usuário através da leitura de dados coletados de sensores do celular como o acelerômetro, conforme estudado na Seção 3.1. Esse tipo de tecnologia pode ser muito eficiente para filas tradicionais, nas quais o usuário intercala passos curtos e momentos em repouso, porém pode não ser eficiente dependendo da localização do aparelho (mão, bolso ou bolsa) e também para outros tipo de espera, como as esperas em que o usuário recebe uma senha e por esse motivo pode estar o tempo todo sentado, ou em movimento totalmente irregular.

A proposta aqui apresentada parte da premissa de que a validação do evento de espera potencial através dos dados coletados da multidão são mais confiáveis e abrangentes do que aqueles que podem ser inferidos somente a partir do padrão de movimentação corporal do indivíduo. À medida que o número de colaborações feitas pelos usuários em relação a eventos de espera, a confiabilidade da plataforma aumenta, pois uma base confiável de locais de espera frequentemente reportados pelos usuários se consolida.

4.5.4.Mecanismo de Do Not Disturb

Como foi discutido na seção anterior, dependendo das opções escolhidas pelo usuário, a plataforma pode perturbá-lo com pouca ou muita frequência questionando o usuário a respeito de uma confirmação de espera. Para contornar esse tipo de problema foi projetado o mecanismo de “*Do Not Disturb*”. Esse mecanismo é responsável por armazenar preferências dos usuários a respeito de locais em que ele não deseja monitorar uma eventual espera. Esse tipo de mecanismo é essencial, pois por exemplo, um determinado estabelecimento que recebe um elevado índice de relatos de espera pode ser o local de trabalho de um outro usuário, que apesar de estar frequentemente presente nesse local por longos intervalos de tempo não está enfrentando um evento de espera. Esse mecanismo serve em primeira instância para atender às necessidades do usuário, bastando que ele sinalize uma única vez que ele não deseja ser incomodado novamente em relação a uma potencial espera detectada naquele local. O usuário pode manifestar a sua preferência dizendo que não deseja ser questionado sobre um evento de espera naquele local nunca mais, naquela semana, ou apenas naquele dia.

Apesar da razão fundamental para a criação desse mecanismo ser a coleta de preferências individuais, o seu uso pode ser estendido para a construção de uma base a

respeito de locais em que muitas pessoas não querem que seja validada uma espera potencial. Locais como praças ou parques públicos geralmente possuem infraestruturas de redes sem fio, mas geralmente não são locais em que a permanência de uma pessoa caracterize um evento de espera. Esse tipo de informação pode ser muito útil para aperfeiçoar a interação da plataforma com o usuário, evitando falsos positivos de validação de espera, melhorando a interação do usuário com a plataforma e aumentando assim a retenção de usuários.

4.5.5. Confirmação explícita do início da espera

A última etapa consiste na confirmação expressa do usuário em relação ao evento de espera, conforme *Figura 12*. Apesar da potencial eficiência dos mecanismos já discutidos anteriormente, ainda assim se faz necessário que o usuário confirme explicitamente o evento de espera. Essa confirmação pode ser feita exatamente no momento em que a espera foi detectada, durante o evento de espera ou até mesmo após a espera ter terminado. A plataforma armazena os eventos de potenciais espera, o momento em que eles forem validados e o tempo de permanência no local, permitindo que o usuário possa por exemplo, instantes após, ou mesmo no fim do dia confirmar um ou mais eventos de espera detectados. A confirmação de um evento de espera exatamente no momento em que ele foi detectado é a opção mais benéfica para a plataforma, pois ela disponibiliza imediatamente essa informação para outros usuários de forma consolidada e anonimizada através de indicadores de tempo de espera em tempo real. Porém as contribuições que são feitas após o evento real de espera também são importantes, pois servem para compor dados históricos que poderão ser utilizados para a construção de análises que são exibidas no perfil do local, bem como podem ser utilizadas para algoritmos de predição do tempo de espera que consistem em detectar padrões em função de horários, dias da semana e eventos importantes.



Figura 12. Tela da central de notificações de esperas detectadas (elaborada pelo próprio autor)

4.5.6. Detecção potencial do fim da espera

O mecanismo de detecção potencial do fim de espera trabalha de uma forma muito semelhante ao mecanismo de detecção potencial do início da espera. Quando uma espera potencial é validada, fica armazenada no aplicativo a lista das redes que geraram o evento de espera ordenadas pelo nível de intensidade. O fim do evento de espera é detectado quando as redes com maior nível de intensidade no momento da detecção de espera não estão mais no alcance do usuário. Esse parâmetro é chamado de **HowManyNet**, seu valor pode variar de 1 a 5, e seu valor pode impactar em falsos positivos de fim de espera, perturbando desnecessariamente o usuário, ou no atraso da detecção do fim de uma espera, afetando assim a precisão do mecanismo. Quando esse parâmetro recebe o valor 1, significa que basta que a primeira rede mais intensa não esteja mais na lista de redes ao alcance do aparelho celular para que o fim da espera seja detectado. Com o valor 2, significa que necessariamente as duas redes com maior intensidade registradas no momento de detecção de espera não estejam mais sob o alcance do celular, e assim por diante.

4.5.7. Confirmação explícita do fim da espera

Da mesma forma que foi discutido na seção que trata da confirmação explícita do início da espera, nessa etapa deve ser feita também a confirmação explícita do fim da espera, seja imediatamente quando detectada ou após o evento.

4.6. Solução proposta

Neste capítulo, será descrito de forma mais ampla características do sistema proposto que permite usuários de serviços do dia-a-dia, informar o tempo necessário para início do atendido. Os longos tempos de espera têm sido objeto de críticas generalizadas da sociedade devido à baixa qualidade de atendimento dos serviços prestados.

4.6.1. Base de dados de locais e organizações

Na maioria dos casos, uma fila está associada a uma localização física e a uma organização provedora de serviços, mas, em alguns casos, esse evento de espera pode não estar diretamente associado à uma localização física.

Por exemplo, o tempo de espera reportado por usuários de canais de atendimento ao cliente geralmente não estão associado a locais físicos, em grande parte este serviço é feito de forma remota. Neste caso, a associação de um relato de tempo de espera deve ser feita somente com a organização, não associada a alguma posição geográfica.

Assim, além do banco de dados de “locais”, também é necessário um banco de dados de “organizações”. Muitas instituições estão criando perfis nas redes sociais, tornando essas redes um excelente banco de dados de “organizações”. Felizmente, essas redes fornecem mecanismos de acesso estruturado a esses bancos de dados - por exemplo, o Facebook fornece a Facebook Graph API. O recurso de integração fornecido pelo Facebook fornece informações sobre as páginas e perfis registrados nesta rede.

Esse tipo de pesquisa pode ser feita pela API do Facebook baseada em grafos, na qual a informação é estruturada em um grafo onde pode-se recuperar nós e arestas relevantes para o usuário. Este grafo é percorrido de um nó que corresponde ao próprio usuário (o que faz a busca), permitindo assim que os resultados desta pesquisa sejam relevantes e consistentes com as ações realizadas anteriormente pelo usuário na rede.

Existem outras bases de dados acessíveis por API que não podem ser negligenciadas, como Google Plus API, Foursquare e LinkedIn API. Todas essas integrações são realizadas através de padrões abertos e possuem total viabilidade técnica.

O primeiro banco de dados de locais explorados neste trabalho é a Google Places API, que foi implementado com sucesso e - no estágio atual - já fornece informações sobre 150 milhões de locais e pontos de interesse que são atualizados com frequência por listas verificadas pelo proprietário e por moderações feitas por usuários.

4.6.2.Cenários

Os problemas relacionados aos longos tempos de espera nos serviços geralmente são mais comuns nos grandes centros urbanos. O crescimento das grandes cidades sem planejamento urbano adequado causou sérios problemas, como a insuficiência dos recursos atualmente disponíveis para atender, em tempo hábil, toda a demanda gerada. É possível que as pessoas que vivam em comunidades pequenas, geralmente rurais ou localidades que tenham um projeto bem sucedido de planejamento urbano, não sejam frequentemente submetidas a tais problemas. Nesta subseção, são propostos dois cenários práticos, que podem ser considerados comuns em cidades médias e grandes.

Cenário 1: João procura restaurantes

João acabou de se inscrever no Demorô e está prestes a fazer seu primeiro acesso. Ele planeja ir a um restaurante nas proximidades, mas ele não quer passar muito tempo em um estabelecimento congestionado. Antes de sair de casa ele faz uma pesquisa por restaurantes próximos e, através da aplicação, ele consegue ver as notificações de tempo de espera recentemente postadas por usuários da aplicação. João agora tem mais informações disponíveis para fazer sua escolha de restaurante. Nesse cenário, João escolhe um lugar e horário mais adequado para levar seus pais para jantar, levando em consideração a informação sobre os tempos de espera.

Cenário 2: Maria denuncia o mal serviço no banco

Maria já é uma usuária do Demorô e está esperando em uma fila no banco Lerman. Ao entrar na fila do banco, ela aciona o botão no aplicativo responsável por iniciar a contagem do tempo de espera no atendimento. Depois de uma espera de 40 minutos, ela finalmente é convocada para ser atendida. Nesse momento, ela sinaliza no aplicativo que

a espera dela acabou, e instantes depois da provisão do serviço publica o tempo gasto com esperas associadas ao atendimento através de seus perfis nas redes sociais. Maria enfrenta filas nessa agência todos os dias, e vê no Demorô uma maneira de se queixar e protestar, porque ela pode divulgar a outros a má prestação de serviços e até mesmo o desrespeito aos direitos dos consumidores. Outros usuários podem visualizar esses relatos e optar por fazer suas operações em outras agências bancárias. Uma vez que o banco não quer perder clientes, investe na melhoria do serviço ao cliente contratando mais funcionários e expandindo sua infraestrutura.

Em ambos os cenários mencionados acima, pode-se observar como o sistema Demorô pode ajudar os usuários a encontrar os melhores lugares, dias e horários para gastar menos tempo nas filas ou em outras esperas no atendimento. Contribuições feitas por um usuário que relata longos tempos de espera geram algumas consequências de em cadeia.

Primeiro, o usuário que faz o relato tem o sentimento de realização por fazer sua parte denunciando abusos. Em segundo lugar, outros usuários também se beneficiam dessa ação, porque saberão antecipadamente que determinado estabelecimento está falhando em manter a qualidade de um serviço em um momento particular de alta demanda e, portanto, podem escolher outros locais ou horários. Em terceiro lugar, os gerentes perceberão a perda de clientes, que em outros momentos estavam passando longas filas devido à incapacidade do estabelecimento de reagir adequadamente em períodos de pico de demanda (decorrente do fator surpresa). Em quarto lugar, os administradores dessas instituições tomarão medidas para melhorar seus serviços, a fim de evitar a perda de clientes.

Finalmente, os usuários ficarão mais satisfeitos porque enfrentarão tempos de espera mais curtos usando serviços que muitas vezes sofrem melhorias e adaptações. Além disso, o que pode ser observado é que a solução proposta nesta tese acaba ajudando a equilibrar a demanda, já que os usuários escolhem o melhor lugar e hora para serem atendidos.

4.6.3.Arquitetura

A proposta apresentada neste trabalho é dividida em dois módulos principais. O primeiro é uma infraestrutura central para armazenar informações sobre lugares, filas e relatos de tempo de espera. Existem quatro entidades principais incluídas no sistema:

Estabelecimento, Fila, Espera e Usuário. A informação sobre os lugares é obtida em tempo real, pois o usuário faz uma pesquisa no aplicativo que está integrado à base de dados do Google Places. Durante o desenvolvimento do projeto, foi considerado um esforço anterior de construção de um banco de dados de lugares, mas, neste estudo, escolhemos adotar uma abordagem de construção sob demanda para a construção do banco de dados dos lugares.

O mesmo raciocínio foi aplicado à construção do banco de dados das filas, já que este repositório também é criado sob demanda, dependendo de ações desencadeadas pelos usuários. Quando um usuário procura um local, assim que este for selecionado, o sistema verifica se o processo de inferência dos serviços já foi executado para esse local recentemente. Se esse processo ainda não foi executado recentemente, ou nunca foi executado, o processo de inferência dos serviços é desencadeado.

Este processo é executado de forma transparente para o usuário, e não requer nenhuma intervenção de sua parte neste processo. Uma heurística adequada permite a associação entre os detalhes do local, como suas áreas de atuação e serviços potenciais oferecidos pela empresa. A listagem com as opções de serviço inferidas para esse local fica disponível instantaneamente para o usuário, mesmo quando o processo de inferência da fila é executado. A abordagem sob demanda para a construção de bancos de dados de locais e filas permite que o banco de dados seja composto de registros cuidadosamente selecionados por uma multidão. Ao contrário de um banco de dados criado por algum robô, a estratégia escolhida neste estudo permite um crescimento escalável do banco de dados e uma garantia de que os dados contidos nele sejam priorizados por pessoas.

Uma das entidades mais importantes do modelo é Espera, que representa as notificações de espera relatadas pelos usuários. Devido à natureza “sem esquema fixo” das entidades acima mencionadas, optamos por usar um banco de dados semiestruturado orientado a documentos.

O segundo componente da arquitetura é o aplicativo móvel. Este aplicativo geralmente é instalado no dispositivo móvel do usuário, ou pode ser acessado diretamente pelo navegador por meio de um computador desktop, notebook, smartphone ou *tablet*. Este módulo é responsável por toda a interação com o usuário, busca por lugares próximos, seleção de serviço e notificações de tempo de espera. O aplicativo permite que a publicação do relato do tempo de espera seja feita de forma anônima ou pública, porém em ambos casos o usuário é autenticado no sistema. O objetivo é garantir a privacidade dos usuários da plataforma mantendo a confiabilidade das contribuições feitas.

A Figura 13 ilustra um quadro resumido da troca de mensagens entre componentes arquiteturais internos e externos que compõem a aplicação Demorô. De acordo com a imagem, o fluxo de troca de mensagens é iniciado com a busca locais de espera. Os locais de espera são obtidos através de uma integração com a API do Google Places.

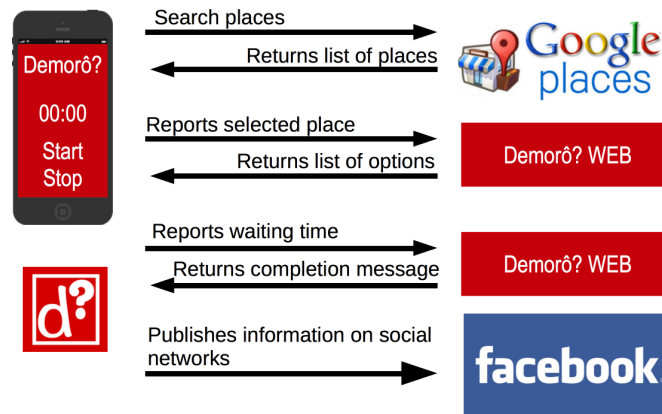


Figura 13. Troca de mensagens entre componentes arquiteturais da aplicação Demorô (adaptado de OLIVEIRA et al., 2015)

Depois de obter a informação dos locais, é feita uma inferência dos serviços prováveis, com base no nome do local, descrição e lista de linha de negócios. A Tabela 3 ilustra alguns exemplos.

Tabela 3. Estratégias para inferência de filas

Linha de negócio	Filas
Agências bancárias	1. Caixa bancário; 2. Caixa eletrônico; 3. Gerente de conta;
Restaurantes	1. Self-service; 2. Pedidos à la carte; 3. Pagamento; 4. Tempo de entrega em domicílio;
Serviços de atendimento ao cliente	1. Chamada por telefone; 2. Resposta de e-mail; 3. Espera para abertura de chat;
Entrega de encomendas	1. Tempo de entrega em domicílio;
Saúde	1. Consulta médica; 2. Exame;

4.6.4. Implementação do protótipo

A proposta apresentada neste trabalho foi implementada como uma aplicação móvel (denominada Demorô) usando tecnologias como PHP, Symfony Framework, Apache Cordova, Angular JS, Ionic Framework e MongoDB. Uma versão bilíngue (inglês e português) está disponível para download gratuito no Google Play e App Store desde novembro de 2015. Para fazer o download, basta procurar "Demorô" nas lojas de aplicativos oficiais dos sistemas de operação móvel Android e iOS. A Figura 3 mostra a interface para relatar o tempo de espera em um smartphone Android.

A Figura 3 mostra o fluxo natural para enviar um relatório em espera. Em (a) você pode ver na tela principal o temporizador e os widgets para selecionar um local e uma fila. Em (b), você pode ver a lista de opções de filas inferidas definidas automaticamente pelo Demoro com base no local selecionado. Finalmente, (c) exibe a tela de confirmação, opções para avaliação de espera e os botões para compartilhar o relatório em serviços de redes sociais como Twitter, Facebook e Google+.

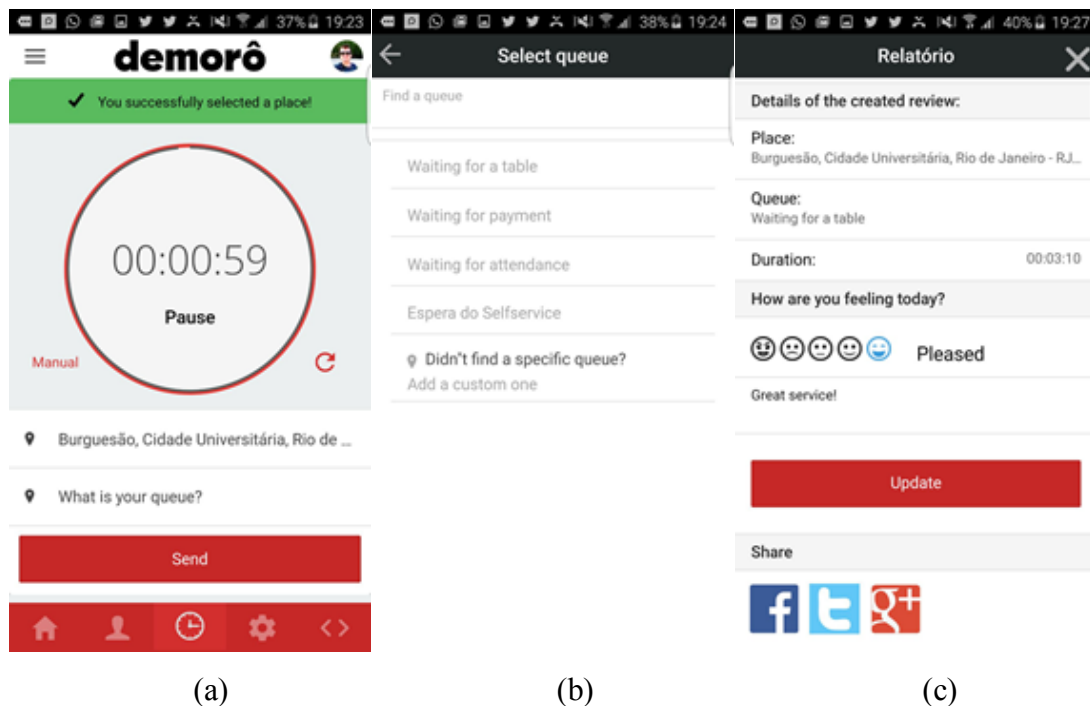


Figura 14. Reportando uma espera com o Demorô (adaptado de OLIVEIRA et al., 2017)

4.7. Experimentos e Resultados

Nesta seção serão discutidos os experimentos relacionados à QP1: “Como detectar automaticamente um evento de espera sofrido por um usuário, possuindo acesso ao dispositivo utilizado pelo mesmo?”. Os experimentos têm como objetivo aferir a precisão dos mecanismos de detecção automática de espera do Demorô em diferentes situações.

4.7.1. Experimento I - Detecção automática da espera através de redes WiFi

Nesta seção, serão discutidos experimentos que foram utilizados durante o desenvolvimento do mecanismo de detecção automática de espera do Demorô, e que permitiram a sua evolução em três diferentes versões do mecanismo. O sensor de detecção de espera automático tem por objetivo detectar eventos de espera sofridos por usuários. A detecção desse evento específico que pode ocorrer a qualquer momento do dia é dividida em sete etapas que serão discutidas a seguir.

Para realização do experimento a seguir foi desenvolvido no escopo dessa pesquisa um aplicativo auxiliar chamado TraceOne, que é responsável por coletar informações brutas do estado de redes sem fio, leituras feitas sob o acelerômetro, marcos

reais explicitamente definidos pelos usuários e metadados do experimento (como o nome do experimento e o local onde o mesmo foi realizado).



Figura 15. Telas do aplicativo auxiliar TraceOne (elaborada pelo próprio autor)

Para a realização do experimento em questão, o aplicativo foi configurado para capturar informações de redes *WiFi* a cada 1s e informações do acelerômetro a cada 250ms. Os dados do acelerômetro não foram utilizados no escopo deste primeiro experimento. Os dados capturados pelo aplicativo TraceOne foram coletados durante um evento real de espera.

O experimento em questão foi realizado nas seguintes etapas:

1. **Aprendizado:** nessa etapa o celular é posicionado no local de espera e são capturadas as redes sem fio para que sejam associadas ao local de espera;
2. **Distanciamento:** o usuário deve se distanciar do estabelecimento a uma distância suficiente para que as redes sem fio do estabelecimento não possam mais ser detectadas pelo celular;
3. **Início da captura:** nesse momento é iniciada a captura de dados feita pelo aplicativo e o usuário deve então se dirigir naturalmente até o local de espera;

4. **Sinalização explícita de chegada:** ao chegar no estabelecimento, local da espera, o usuário deve sinalizar explicitamente ao aplicativo TraceOne sua chegada, que será armazenada no trace. Cabe observar que essa informação não será utilizada pelo mecanismo de detecção automática de espera, mas será utilizada apenas como referência para validação do mecanismo.

5. **Espera:** o usuário deverá esperar por alguns minutos até que o serviço seja provido;

6. **Sinalização explícita do partida:** ao sair do estabelecimento, o usuário deve sinalizar através do aplicativo sua saída. Essa informação será utilizada futuramente para validação do mecanismos de detecção automática do término de uma espera;

7. **Fim do experimento:** após sinalizar sua saída do local, o usuário deverá se dirigir ao mesmo ponto do início do experimento;

Os passos descritos acima permitiram que dados reais relativos a um cenário genérico de espera pudessem ser obtidos. Os dados reais obtidos através desse metodologia permitem que diferentes possibilidades possam ser exploradas em laboratório, simplificando assim o desenvolvimento, otimização e validação do mecanismo. Na sequência serão abordadas cada uma das etapas que foram percorridas para o desenvolvimento do mecanismo de detecção automática de espera.

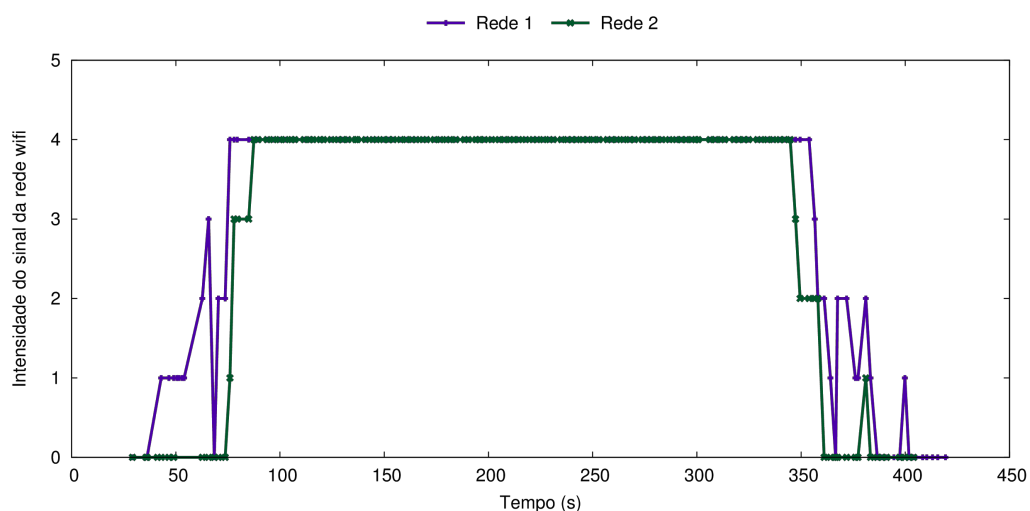


Figura 16. Intensidade de Redes *WiFi* detectadas durante o estabelecimento (elaborada pelo próprio autor)

A Figura 16 apresenta no eixo das abcissas a linha temporal do experimento, e no eixo das ordenadas o nível de intensidade das redes *WiFi*, em uma escala de 0 a 5, aferida através do aparelho celular utilizado durante o experimento. Durante a fase de aprendizado foram encontradas 17 redes sem fio distintas, porém para facilitar a visualização foram selecionadas apenas as duas redes sem fio mais intensas para serem exibidas nesse gráfico, denominadas como Rede 1 e Rede 2.

As informações de redes *WiFi* são obtidas através de API disponibilizada pelo sistema operacional móvel, e dentre as informações mais importantes recebidas podemos destacar o BSSID, que o identificador único de um roteador sem fio, o SSID que é uma identificação textual, não necessariamente única, de uma rede sem fio e o nível de intensidade da rede sem fio.

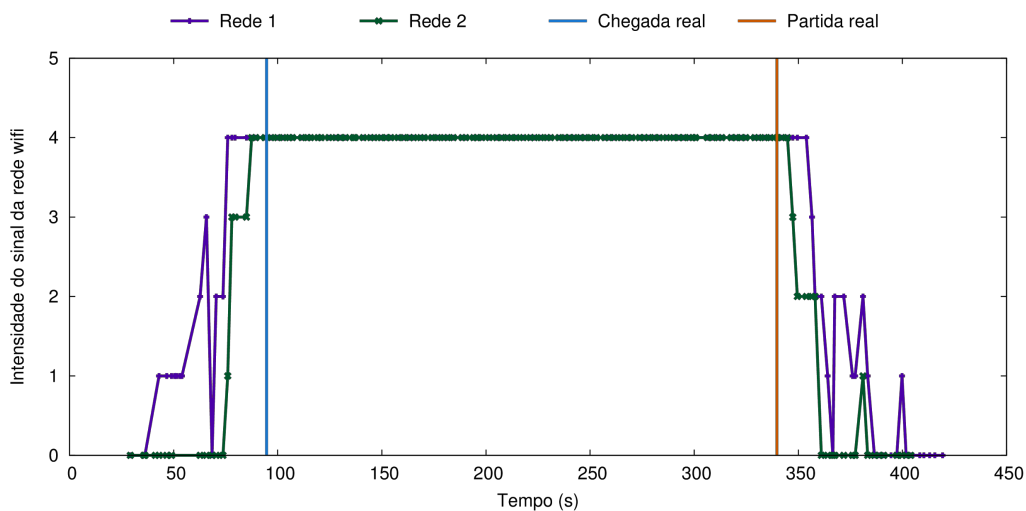


Figura 17. Marcos temporais explicitamente definidos pelo usuário (elaborada pelo próprio autor)

Na Figura 17, além das duas curvas que expressam o nível de intensidade de redes sem fio, existem também duas linhas verticais, que representam dois instantes explicitamente sinalizados pelo usuário através do aplicativo utilizado durante o experimento. A primeira linha vertical, é chamada de “Chegada real” e representa o exato instante em que o usuário entrou no estabelecimento e iniciou a espera. A segunda linha, denominada “Partida real”, de igual forma, representa o exato instante que o usuário deixou o estabelecimento, não sendo este necessariamente o instante de término da espera. A detecção do término da espera será discutida em outros experimentos que serão abordados em seções a seguir. Esses dois marcos explicitamente definidos pelo usuário

do experimento não serão utilizados como insumos do mecanismo de detecção automática de espera, mas serão utilizados apenas para fins de validação do experimento.

Como pode-se ver na imagem, no início do experimento nenhuma das duas redes pôde ser detectada, até que conforme o usuário se dirige ao estabelecimento, a Rede 1 é inicialmente detectada em seu nível mais baixo de intensidade. Dando sequência ao experimento, a medida que o usuário se aproxima do estabelecimento esse nível de intensidade aumenta. Durante o tempo de permanência do usuário no estabelecimento a Rede 1 oscila entre os níveis 3 e 4 de intensidade, enquanto a Rede 2 se mantém no nível 4 de intensidade de sinal.

O comportamento simetricamente oposto ao de chegada ao estabelecimento, pode ser observado durante a saída do usuário do local do experimento, no qual o nível de intensidade de sinal é gradativamente atenuado até que não possa ser mais detectado pelo aparelho celular utilizado durante o experimento.

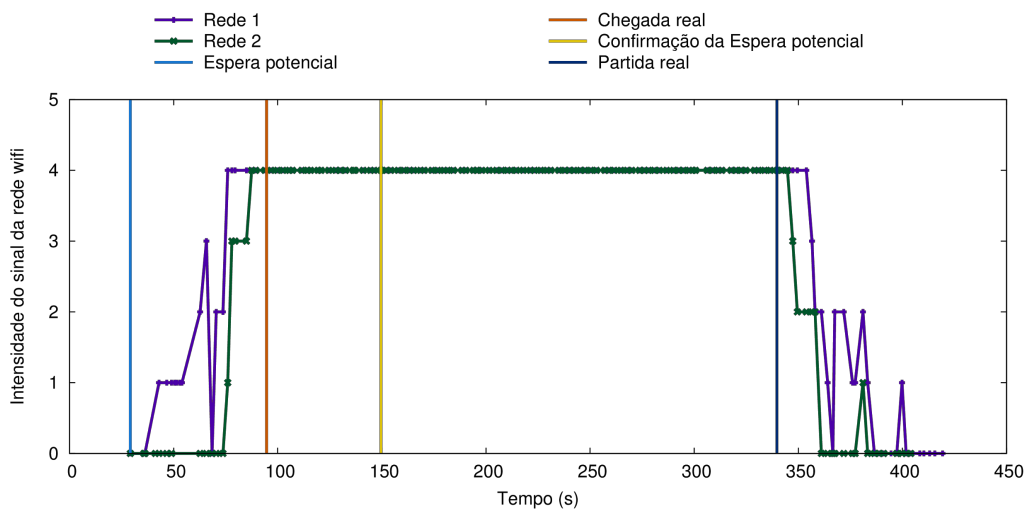


Figura 18. Confirmação da Espera Potencial (elaborada pelo próprio autor)

Na *Figura 18*, é possível observar as mesmas grandezas expressas na imagem anterior, acrescido de dois novos marcos, estes dois calculados automaticamente pelo mecanismo de detecção automática de espera. O primeiro deles, é denominado como “Espera potencial”, sendo esta a primeira linha vertical, da esquerda para direita, na imagem acima. O marco de espera potencial, é definido como o primeiro instante em que uma rede sem fio associada a um local de espera pôde ser detectada. Esse marco é chamado de espera potencial, pois não pode-se determinar que a simples aproximação de uma pessoa a um local de espera já caracteriza a existência de um evento de espera.

Para confirmar essa espera potencial, o mecanismo verifica a permanência do usuário nas proximidades da rede sem fio em questão por um intervalo mínimo de tempo, que é denominado como **MinTimeWaited**. Esse parâmetro representa qual é o tempo mínimo de permanência de um usuário em um estabelecimento para que uma espera potencial seja confirmada. Vale ressaltar, que esse mecanismo é executado apenas em locais que já tenham sido apontados por outros usuários como um local de esperas, esse tipo de precaução mitiga parte das possibilidades de falsos positivos na detecção automática de esperas. Uma vez alcançado esse tempo mínimo, é registrado então o marco de Confirmação da Espera Potencial, que é a terceira linha vertical, da esquerda para a direita, expressa no gráfico.

Considerando os dados obtidos até aqui, a primeira métrica do mecanismo de detecção automática da espera determina então que o início da espera se deu no instante de detecção da espera potencial. Como pode-se ver na imagem essa não é uma estimativa muito precisa, pois é possível perceber relativo distanciamento da linha de espera potencial para a linha de chegada real.

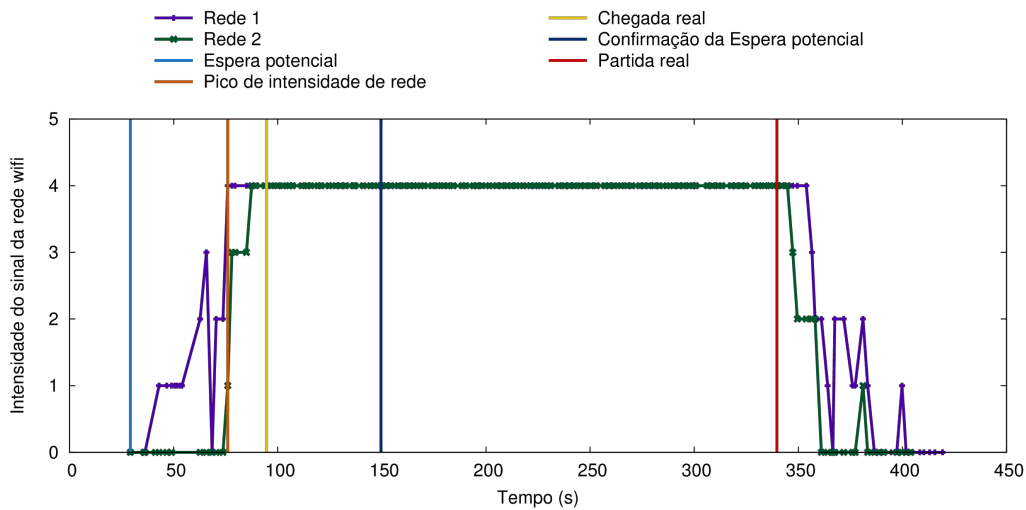


Figura 19. Pico de intensidade de rede (elaborada pelo próprio autor)

Para aumentar a precisão do mecanismo de detecção automática de espera, foi projetada uma melhoria que é capaz de detectar com mais acurácia o instante que se iniciou a espera. A *Figura 19* ilustra um novo marco calculado pelo mecanismo que é denominado como “Pico de intensidade de rede”. Esse marco é formalmente definido, como o primeiro instante de tempo em que a uma das redes associadas ao estabelecimento alcançou o máximo local de intensidade de sinal entre o instante de espera potencial e o instante de confirmação da espera potencial. Esse marco pode ser visualizado no gráfico

acima, como a segunda linha vertical, que conforme pode ser visualizado, representa uma estimativa muito mais precisa do início real da espera.

Tabela 4. Marcos temporais do Experimento I

Tempo decorrido	Evento
0	Início do experimento
29,197	Espera potencial
75,953	Pico de intensidade de rede
94,651	Chegada real
149,564	Confirmação da espera potencial
339,752	Partida real
444,881	Fim do experimento.

Analisando os dados da Tabela 4, é possível perceber que a primeira estimativa do início da espera, definida pelo marco Espera potencial, possui um erro de 65,454s em relação ao evento real de espera, enquanto a segunda estimativa, definida pelo Pico de intensidade de rede possui erro de apenas 18,698s. Os números descritos acima sinalizam que para o cenário abordado no experimento, a segunda métrica de detecção automática de espera foi 350,05% mais precisa se comparado à métrica anterior.

Apesar desta estimativa estar mais próxima do momento real do início da espera, o próximo experimento discutirá ainda melhorias que proporcionarão uma determinação automática ainda mais apurada do instante real do início da espera.

4.7.2.Experimento II - Refinando a estimativa de início da espera através de dados do acelerômetro

O experimento I descrito na seção anterior, conseguiu demonstrar a efetividade do mecanismo para determinar de forma aproximada o início de uma espera. Porém essa estimativa pode ainda ser determinada com maior precisão, utilizando-se de outros sensores disponíveis em um aparelho celular atual. No escopo deste experimento será abordado o uso do acelerômetro para refinamento da estimativa de início da espera.

O acelerômetro é um sensor presente na maior parte dos celulares, que é capaz de medir a inclinação do aparelho nos eixos x, y e z. A leitura dessas três componentes de inclinação no decorrer do tempo podem determinar a variação angular do celular no plano

tridimensional. No escopo desse trabalho, estamos interessados na leitura dos dados do acelerômetro para determinar o instante em que o usuário parou de caminhar e começou a se comportar de uma forma compatível com o comportamento esperado de uma fila convencional.

Os dados utilizados neste experimento são os mesmos que foram utilizados no experimento I, porém nesse momento utilizaremos também os dados obtidos através do acelerômetro. Para simplificação do experimento, foi escolhido um cenário em que o usuário deixa o aparelho celular em cima da mesa, totalmente imóvel durante o período que compreende a sua permanência no estabelecimento. Esse tipo de comportamento é um dos possíveis padrões de comportamento de uma pessoa durante um evento de espera. O autor têm ciência que esse cenário não representa a totalidade de possibilidades. Para validar a abrangência do mecanismo frente a outros cenários, outros padrões de comportamento serão testados em experimentos a seguir.

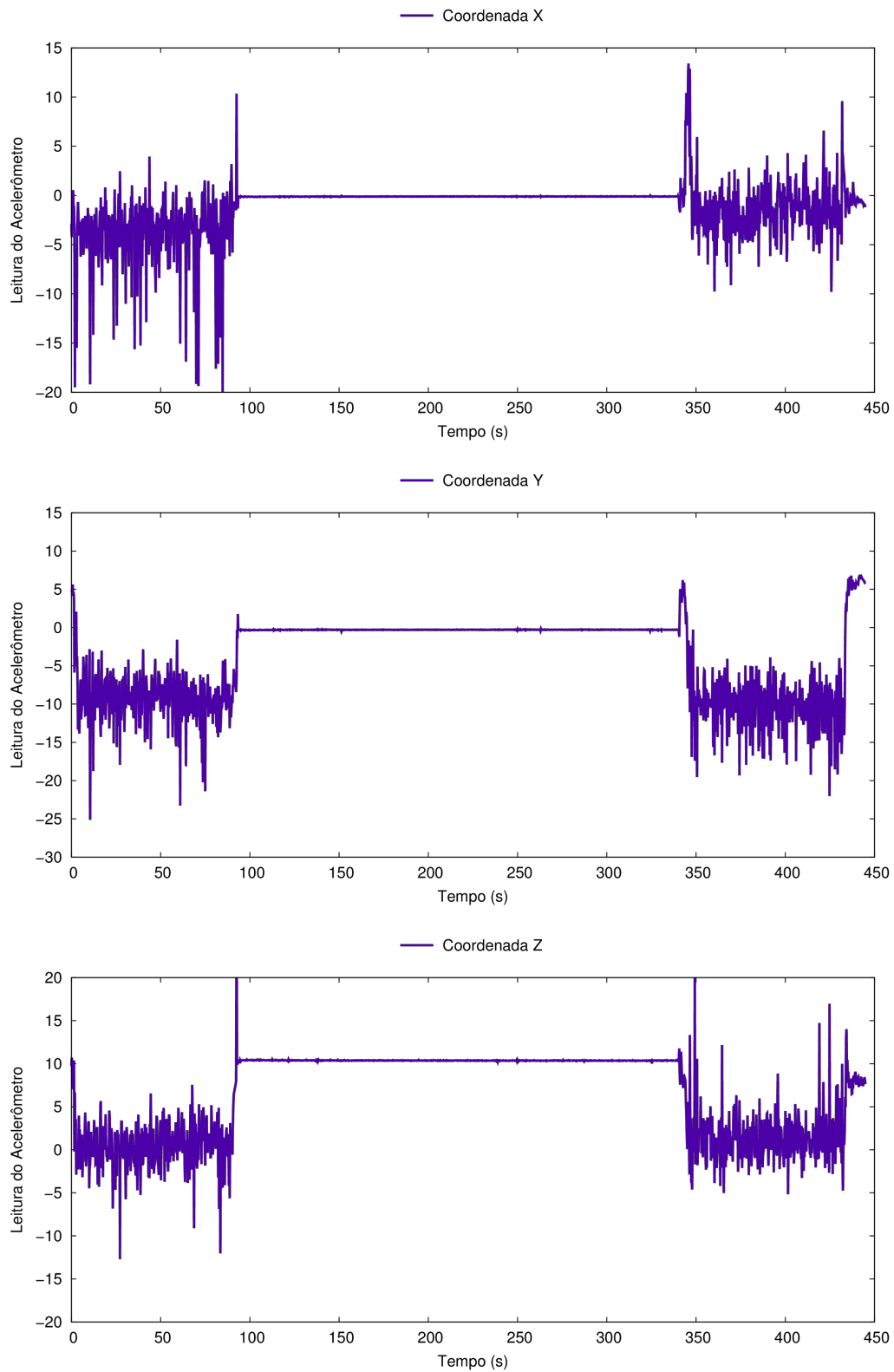


Figura 20. Leitura das coordenadas X, Y e Z feitas durante o experimento
(elaborada pelo próprio autor)

A *Figura 20*, exibe as leituras feitas através do acelerômetro, a cada 250ms, durante todo o experimento. No topo, o primeiro gráfico expressa a leitura da coordenada X, o segundo a coordenada Y e por fim o terceiro a coordenada Z. Apesar de possuírem valores distintos para cada uma das coordenadas, pode-se observar com facilidade o mesmo padrão de comportamento. Por esse motivo, para esse cenário qualquer uma das coordenadas poderia ser escolhida para aprofundamento dos estudos desse experimento. Essa liberdade de escolha pode não ser confirmada em outros cenários, o que será objeto de estudos futuros.

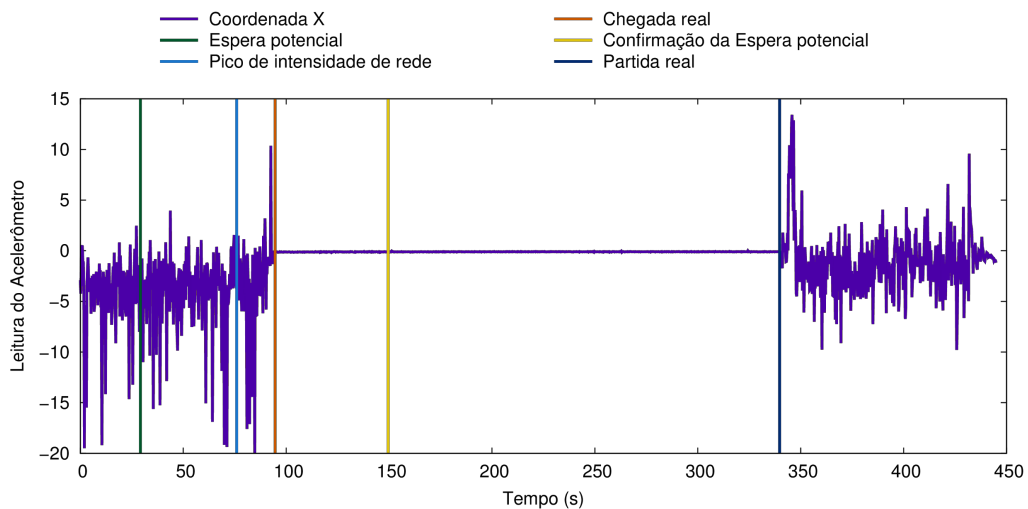


Figura 21. Leituras do acelerômetro e marcos temporais (elaborada pelo próprio autor)

A *Figura 21* ilustra com bastante clareza a variação da leitura da coordenada X do acelerômetro nos diferentes momentos do experimento. Pode-se ver elevado nível de oscilação desta grandeza nos momentos que antecedem e sucedem o período de espera. No escopo deste trabalho não estamos necessariamente interessados na medida efetiva que foi lida do acelerômetro, mas apenas em uma grandeza que expresse o nível de oscilação do aparelho celular ao decorrer do tempo.

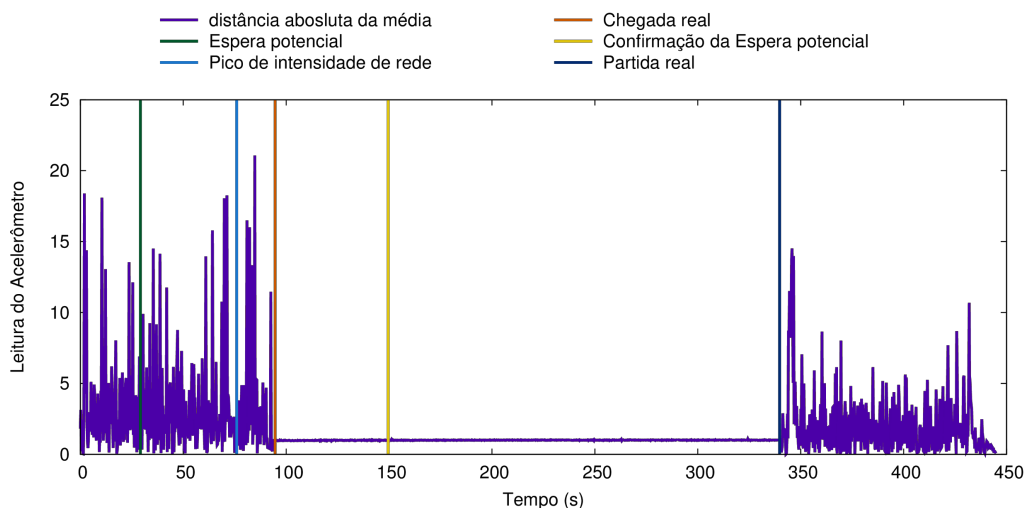


Figura 22. Distância da leitura do acelerômetro e a sua média (elaborada pelo próprio autor)

A imagem acima exibe uma nova grandeza calculada que é a distância da média. Essa grandeza expressa de forma absoluta o quanto o valor da coordenada X do acelerômetro está distante da média de tal coordenada durante todo experimento.

$$|acceX - avg(acceX)|$$

Conforme a imagem, é muito fácil perceber que entre os marcos de chegada real e partida real essa variação de inclinação tende a zero, enquanto fora dessas fronteiras o indicador varia entre valores maiores que zero.

Esse tipo de análise é possível de ser feita apenas em laboratório, tendo-se em mãos todos os dados do experimento para análise após a execução de todas as leituras. Vale lembrar, que o mecanismo de detecção automática de esperas projetado nesta tese deve ser apto para ser executado em um aparelho celular durante o evento de espera com o intuito de detectar a espera enquanto ela ocorre. Sendo assim, tal abordagem é bastante útil para o estudo do fenômeno em laboratório, mas necessita de adaptações para ser utilizada de forma aplicada no mecanismo de detecção automática de espera.

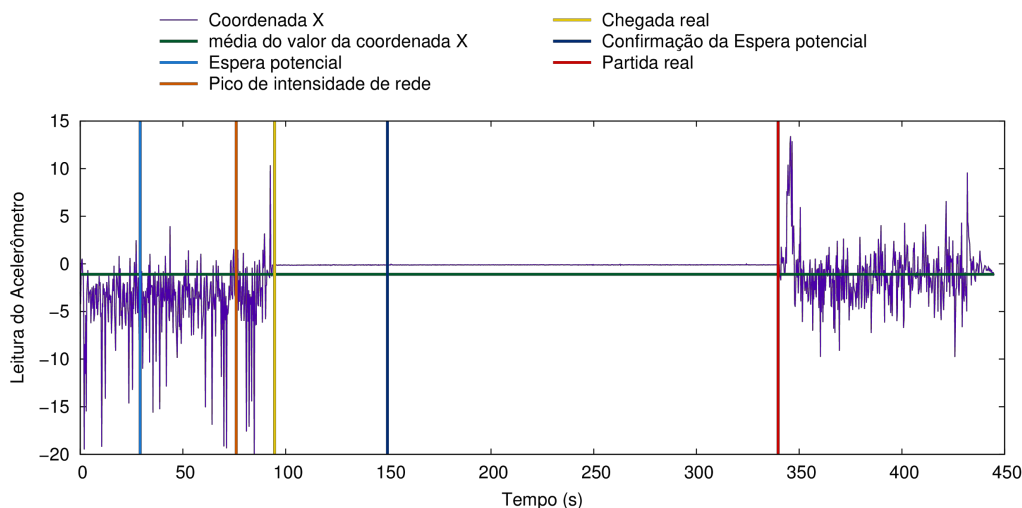


Figura 23. Média da leitura da coordenada X durante todo o experimento (elaborada pelo próprio autor)

A *Figura 23* ilustra o valor da média da coordenada X do acelerômetro considerando os seus valores em todo o experimento. Existem dois motivos para que esse valor médio não seja utilizado pelo mecanismo. O primeiro deles é que essa grandeza não é conhecida durante o evento de espera, podendo ser calculada somente após o término do evento. O segundo motivo é que apenas um valor médio, constante, não auxilia na descoberta do padrão de movimentação que o aparelho celular está.

Para resolver esse problema, podemos calcular o conceito de média flutuante ou instantânea, que é uma média que leva em consideração um número pré-determinado de amostras do valor da coordenada de X imediatamente anteriores ao ponto em que se deseja calcular o valor médio. Esse tipo de técnica resolve o nosso problema de disponibilidade dos dados, pois não é necessário dados futuros ainda não disponíveis durante o evento de espera.

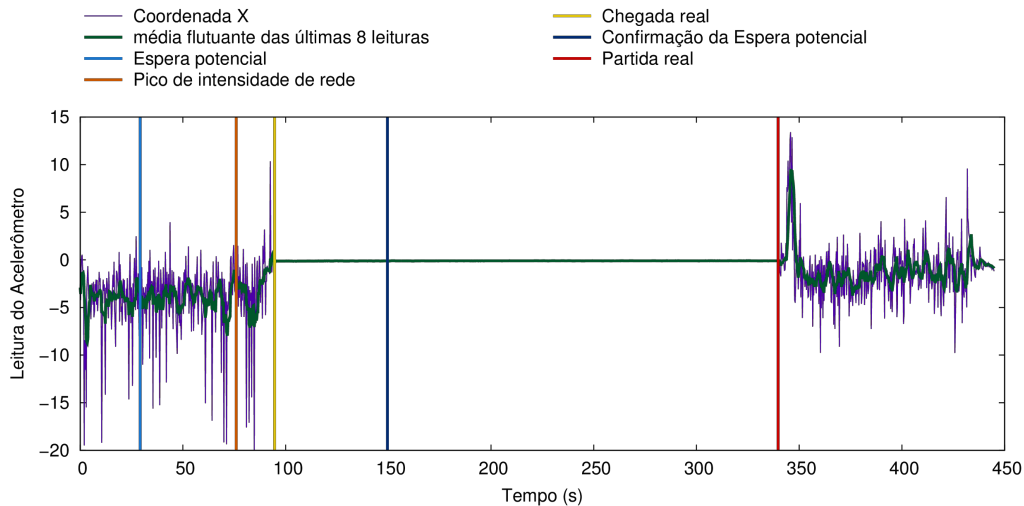


Figura 24. Média fluante simples (*adaptado de OLIVEIRA et al., 2017*)

A Figura 24 ilustra a média fluante da coordenada de X levando-se em consideração as últimas 8 leituras. Como estabelecemos que as leituras feitas sob o acelerômetro são feitas a cada 250ms, isso significa dizer que a média fluante leva em consideração as leituras feitas nos últimos 2s. Por esse motivo, essa grandeza estatística pode ser chamada também de média instantânea, pois leva em consideração os valores de um curto intervalo de tempo. Devido a esse comportamento instantâneo, podemos perceber que a curva de média instantânea segue um comportamento semelhante ao da coordenada X, só que mais suavizado, justamente por representar um valor médio. Essa curva mais suavizada é muito útil, pois ela minimiza o efeito negativo que *outliers* poderiam causar ao mecanismo.

O conceito de média fluante simples, ou “*simple moving average*” (SMA) pode também ser compreendido através da seguinte modelagem matemática:

$$SMA = \frac{p_M + p_{M-1} + \dots + p_{M-(n-1)}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_{M-i}$$

Assim conforme mencionado anteriormente, não estamos interessados em saber para qual direção o aparelho celular está sendo movimentado, mas apenas queremos saber se ele está obedecendo algum padrão de movimentação. No experimento em questão, tanto a coordenada X, como a média fluante da coordenada X possuem valores muito próximos de zero durante o momento de espera. Esse tipo de leitura só foi possível porque o celular foi deixado em cima de uma mesa plana, nivelada em relação ao solo. A leitura

em questão teria sido distinta se por acaso o celular tivesse sido deixado inclinado durante o período de espera. Como não estamos interessados em saber a posição que o celular foi deixado, mas apenas se esse celular sofreu algum tipo de movimentação, podemos utilizar o conceito de distância da média flutuante para resolver esse problema.

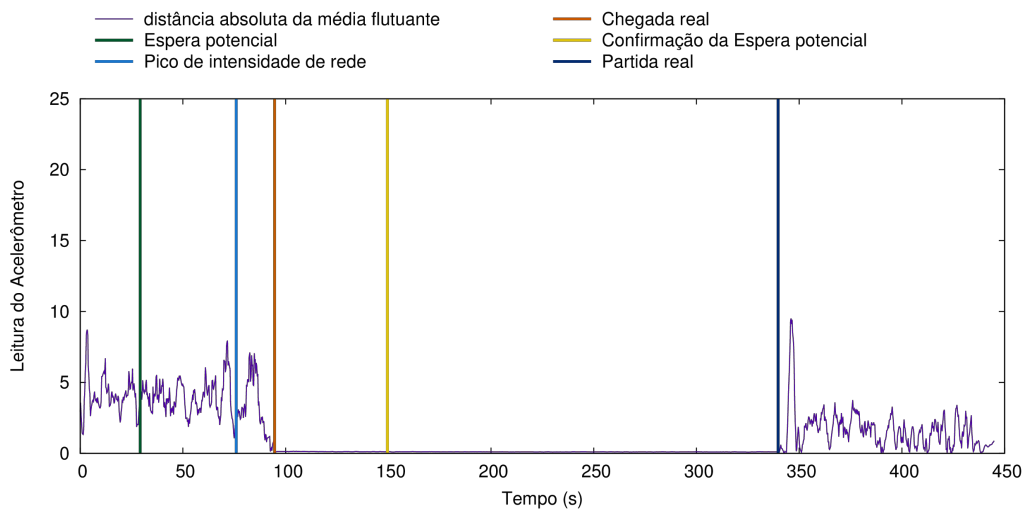


Figura 25. Distância da média flutuante simples (elaborada pelo próprio autor)

O gráfico acima demonstra o valor da distância da média flutuante da coordenada de X levando em consideração as suas últimas oito amostras. Dessa forma, podemos obter um indicador seguro do padrão de movimentação do aparelho celular durante o experimento. Como pode ser visto no gráfico, essa métrica provou ser bastante eficaz na detecção do início e do final da espera com uma precisão de 99,16%, observando a proximidade entre o marco “Chegada Real” e o momento em que a distância absoluta da média flutuante se aproxima de zero.

No cenário explorado neste experimento, atribui-se o início e o fim da espera devido à chegada e saída do usuário no estabelecimento comercial, não sendo possível dissociar então o período em que o usuário do aplicativo aguardou o serviço e o período em que ele foi servido (ele permaneceu sentado durante esses dois estágios). Esse tipo de comportamento é comum em lanchonetes e restaurantes - quando você se senta para fazer sua solicitação e desfruta do serviço em questão com o mesmo padrão de comportamento de quando você esperava.

Na seção a seguir, serão experimentadas diferentes posições em que o aparelho celular poderá ser deixado durante o tempo em que o usuário está aguardando pela provisão de algum serviço.

4.7.3. Experimento III - Validando o algoritmo de detecção automática de espera em uma fila

Nos dois experimentos anteriores o usuário aguardava pela provisão do serviço sentado com o seu aparelho celular apoiado em uma mesa. Apesar de possível, esse não é o caso mais comum de espera. Parte significativa das esperas são experimentadas por usuários posicionados em uma fila indiana, conforme *Figura 26*. Uma fila é formada por pessoas que estejam aguardando a provisão de algum determinado serviço, de forma que essas pessoas estejam posicionadas uma após a outra. A medida que os primeiros integrantes da fila são atendidos os demais membros caminham para uma posição adiante desta fila. Esse tipo de organização faz com que os usuários intercalem entre momentos de curtas caminhadas e momentos de repouso. Esse tipo de análise permite além de detectar o início da espera permite também diferenciar o momento em que o usuário está esperando em fila do momento que o usuário está usufruindo do serviço ainda nas dependências do estabelecimento.



Figura 26. Caso típico de fila em estabelecimento comercial (elaborada pelo próprio autor)

Para permitir uma análise mais apurada dos dados do acelerômetro, optou-se nesse experimento, por aumentar a frequência de leitura do acelerômetro para 20Hz, significando que cada leitura é feita a cada 50ms. Os dados do sensor de *WiFi* são lidos a cada 1s da mesma forma que foi realizado nos experimentos anteriores. Durante a realização desse experimento, espera-se que o usuário caminhe até o local de espera, mais precisamente até o início da fila. Na fila o usuário intercala entre momento de repouso e caminhadas de poucos passos. Após a etapa de fila, o usuário ficou em repouso por longo período, até o momento em que ele iniciou uma caminhada com o objetivo de se retirar

do estabelecimento. Os dados de leitura do acelerômetro podem ser vistos no gráfico a seguir.

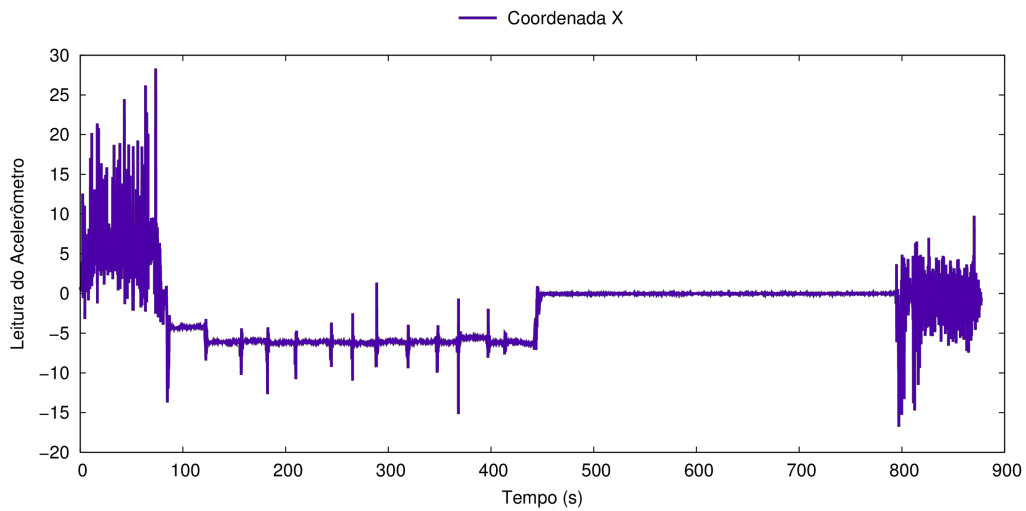


Figura 27. Leitura da coordenada X durante espera em uma fila em pé
(elaborada pelo próprio autor)

Os dados coletados do acelerômetro, ilustrados na *Figura 27*, revelam com fidelidade o comportamento esperado para esse tipo de cenário. Como pode-se ver na imagem, o primeiro trecho do gráfico que compreende dos instantes 0 até 90 percebe-se bastante variação do valor lido. Do instante 90 até próximo de 450 observa-se uma alternância entre momento de repouso e curtos momentos de intensa variação. No terceiro trecho do gráfico, observa-se o repouso do usuários entre os instantes 450 até o 795. Por fim, no último trecho podemos visualizar outro período de caminhada até o término do experimento.

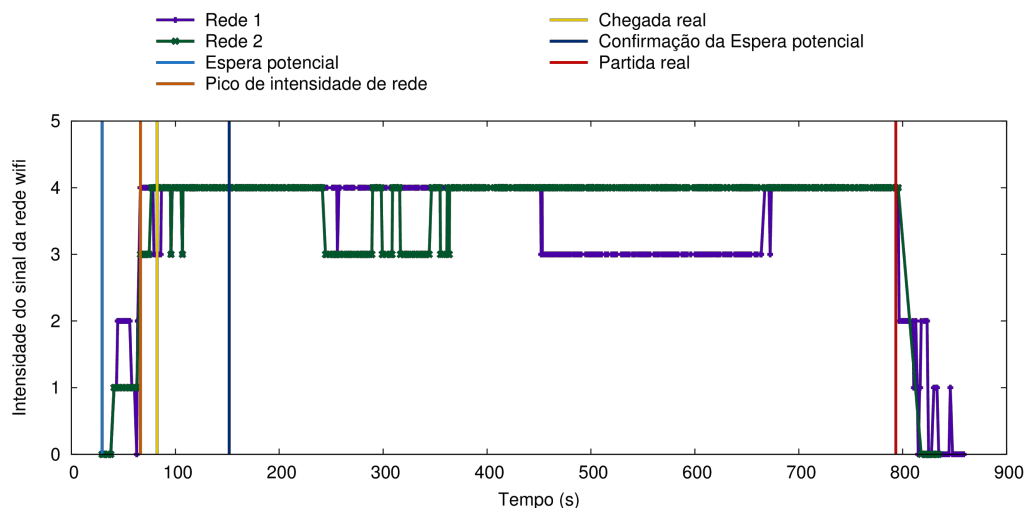


Figura 28. Marcos temporais explícitos e calculados do experimento III
(elaborada pelo próprio autor)

A Figura 28, exibe o cálculo dos marcos de espera potencial, pico de intensidade de rede e confirmação da espera potencial, além dos marcos de chegada real e partida real reportados explicitamente pelo usuário.

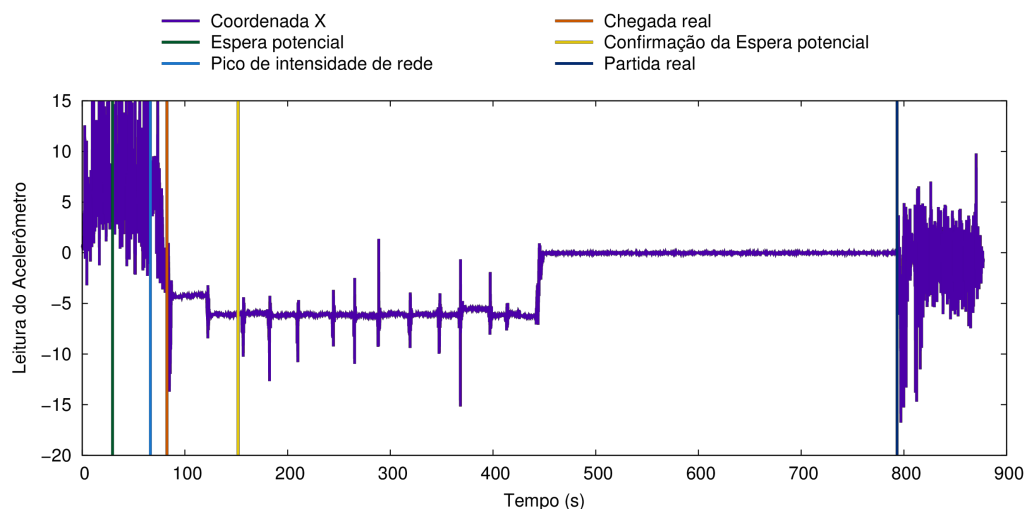
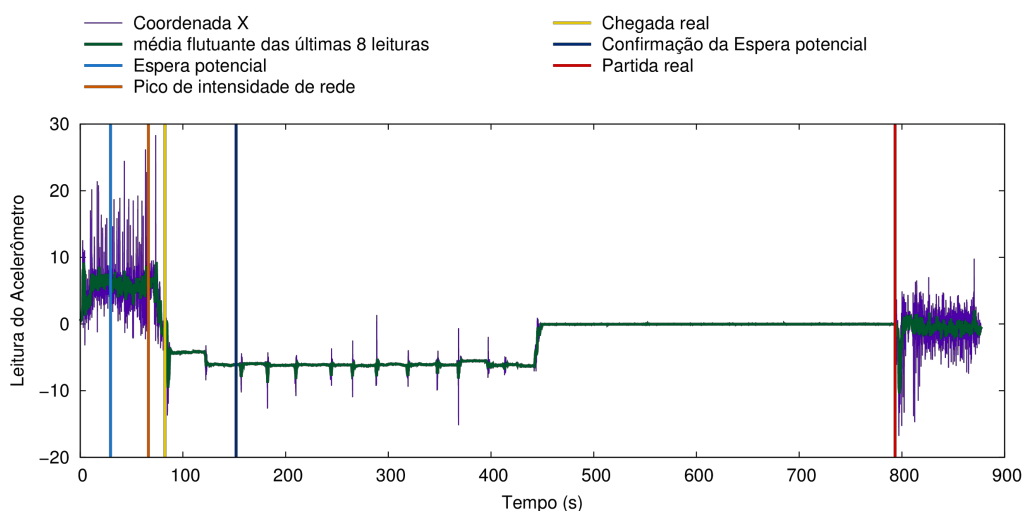


Figura 29. Marcos temporais e leituras do acelerômetro do experimento III
(elaborada pelo próprio autor)

Na Figura 29, pode-se ver o gráfico do acelerômetro em conjunto com os marcos temporais calculados pela análise das redes sem fio, acrescidos dos marcos temporais sinalizados pelo usuário. Conforme já era esperado, existe uma abrupta mudança no padrão de comportamento dos valores coletados do acelerômetro nas proximidades do evento real de início da espera reportado pelo usuário. Exatamente nesse instante, o

usuário transita de um período de caminhada para um período de alternância entre repouso e caminhadas curtas. Pode-se ver que esse padrão se repete até que o usuário fique em repouso por um longo intervalo de tempo. Esse tipo de análise é muito importante para poder determinar o momento em que o usuário deixou de esperar em fila para começar a usufruir do serviço em repouso. Nesse momento, estamos estabelecendo um novo marco, que denomina-se como fim da espera. O fim da espera pode acontecer antes da saída do usuário do estabelecimento em questão. Por exemplo, para um cliente que aguarda em uma fila para entrar em um restaurante e para servir seu prato, consideramos que sua espera foi encerrada no momento em que ele senta-se à mesa e desfruta da sua refeição em repouso, possivelmente com o celular em cima da mesa ou em seu bolso. Nesse experimento o celular foi deixado no bolso durante a espera em fila, e foi deixado sobre a mesa durante o momento de repouso.

O objetivo desse experimento é detectar o início e término de uma espera, de um usuário que aguarda em uma fila. Assim como foi feito no experimento anterior, utilizaremos aqui o conceito de média flutuante das leituras feitas sobre o acelerômetro.



*Figura 30. Marcos temporais e a média flutuante simples da coordenada X
(adaptado de OLIVEIRA et al., 2017)*

Como pode-se ver na Figura 30, a média flutuante expressa a tendência local de comportamento das leituras do acelerômetro. O nosso objetivo é detectar quando existe uma variação das leituras do acelerômetro em comparação com a média local, que reflete o padrão de comportamento do usuário naquele momento. Podemos perceber que durante o intervalo de caminhada antes da espera, e após a saída do estabelecimento as leituras

do acelerômetro se afastam muito da média local, isso significa que o usuário está variando com bastante intensidade o posicionamento do celular. Durante o tempo de espera, a leitura do acelerômetro apresenta um comportamento periódico, no qual nos momentos de repouso a leitura do acelerômetro é bastante próxima da média flutuante, e durante os passos do usuário na fila de espera, o valor lido no acelerômetro afasta-se da média local. Durante o tempo em que o usuário está em repouso usufruindo do serviço, percebe-se que a leitura do acelerômetro e a média local seguem a mesma tendência constante. Baseado nos fatos discutidos acima, podemos então concluir que precisamos analisar na verdade é a distância entre a leitura do acelerômetro e a média flutuante.

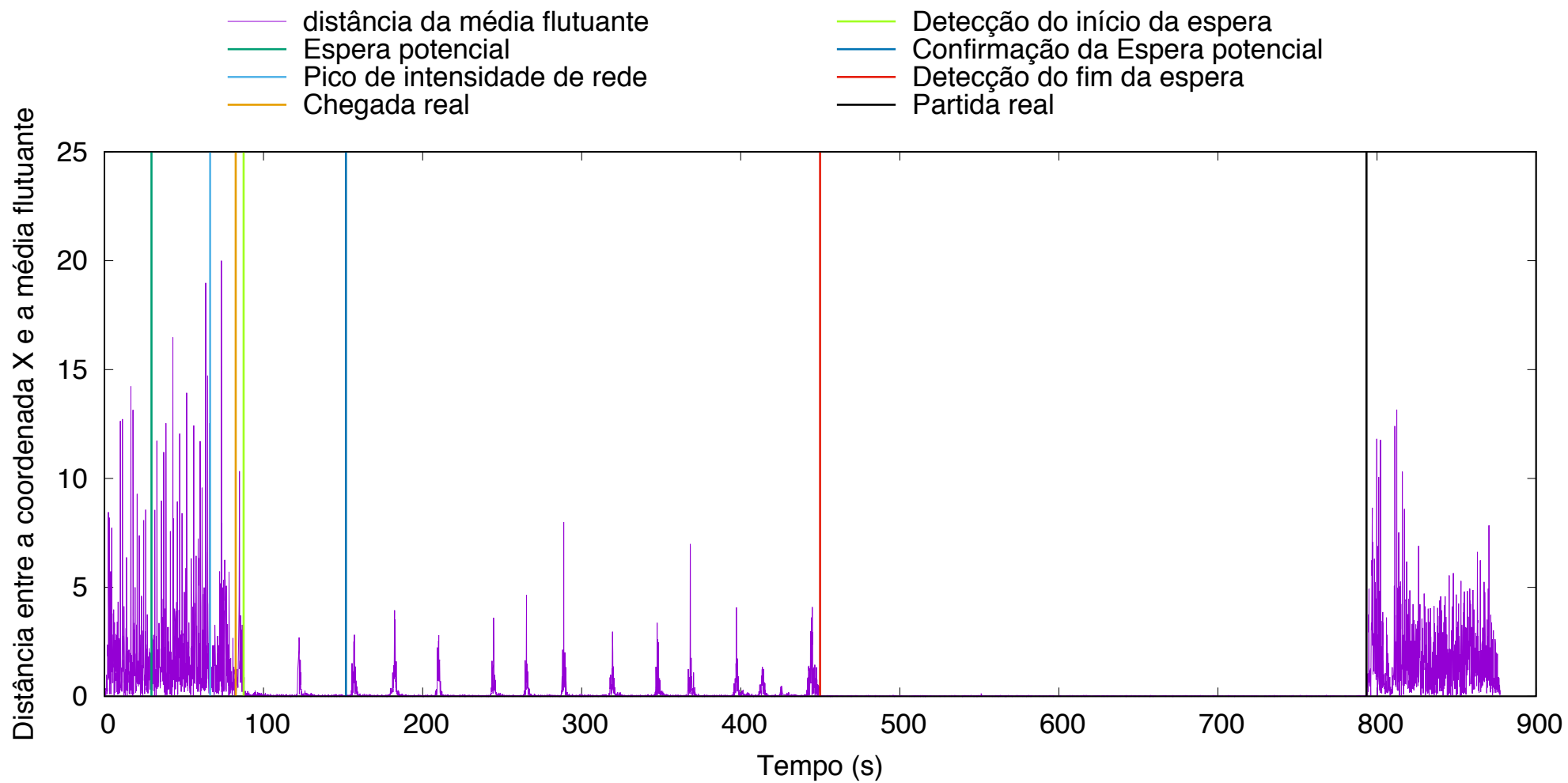


Figura 31. Marcos temporais e distância da média flutuante simples (adaptado de OLIVEIRA et al., 2017)

Na *Figura 31*, pode-se ver um gráfico que exhibe os marcos temporais do experimento acompanhado da distância da média flutuante do acelerômetro do celular. Nessa imagem é possível perceber a correlação entre os marcos temporais e as leituras do acelerômetro. Na Tabela 5 podem ser vistos os instantes de tempo em que ocorreram cada um dos marcos temporais observados no experimento. Nas linhas 3 e 7 da tabela é possível perceber dois marcos temporais explicitamente sinalizados pelo usuário: Chegada real e Partida real. Além dos marcos temporais explicitamente sinalizados pelo usuário, nas demais linhas da tabela é possível perceber também os marcos inferidos pelo mecanismo proposto nesta tese: espera potencial, pico de intensidade de rede, detecção do início da espera, confirmação da espera potencial e detecção do fim da espera.

Tabela 5. Marcos temporais do Experimento III

#	Tempo (s)	Marco temporal	Tipo
1	29,5	Espera potencial	inferido
2	66,4	Pico de intensidade de rede	inferido
3	82,5	Chegada real	explícito
4	87,4	Deteção do início da espera	inferido
5	151,8	Confirmação da espera potencial	inferido
6	449,5	Deteção do fim da espera	inferido
7	793,4	Partida real	explícito
8	877,3	Fim do experimento	explícito

A espera potencial, é o primeiro indício detectado pelo mecanismo que o contexto em questão pode se tratar de um evento de espera. Nesse momento, o mecanismo entra em um estágio cujo objetivo é confirmar uma espera potencial. Essa confirmação é descrita na linha 5 da tabela, no evento “Confirmação da espera potencial”. O próximo objetivo do mecanismo é definir com a maior acurácia possível em que momento foi iniciada a espera, que será entre os marcos descritos nas linhas 1 e 5. O próximo marco é o “Pico de intensidade de rede” que denota o primeiro momento em que uma das redes sem fio associadas ao estabelecimento alcançou o maior nível de intensidade de sinal detectado pelo aparelho celular do usuário. Essa é uma estimativa geralmente mais acurada que a “Espera potencial”, pois o nível máximo de intensidade do sinal de rede sem fio é alcançado quando o usuário está mais próximo, ou até mesmo no interior do

estabelecimento de ocorrência do evento de espera. O próximo marco temporal automaticamente inferido pelo sistema é a “Detecção do início da espera”, que é o momento onde pode-se observar uma mudança de comportamento das leituras do acelerômetro do celular do usuário. Esse momento é detectado quando o usuário alterna de um modo de caminhada regular para um modo de curtas caminhadas intercaladas com períodos de repouso. A “Detecção do fim da espera” ocorre quando o usuário deixa esse modo de caminhada irregular, intrínseca do modo de caminhar em uma fila, para um modo de repouso, geralmente observado durante o momento em que o usuário está usufruindo do serviço desejado. Em alguns tipos de espera pode não ser possível dissociar o momento de fim da espera do momento da partida do usuário do estabelecimento. Essa dificuldade de detecção ocorre quando o usuário se ausenta do local imediatamente após a espera, por exemplo, tipo de comportamento geralmente observado em filas de pagamento.

4.8.Conclusão

Nesse capítulo foram descritos os processos adotados para o projeto, desenvolvimento e validação de uma proposta de solução para a monitoração do tempo de espera em atendimentos. Um protótipo foi desenvolvido que implementa 65% dos requisitos descritos no Apêndice C. Esses requisitos foram levantados através de um método cooperativo de elucidação de requisitos que levou em consideração o resultado de entrevistas, revisão de literatura e aplicação de questionários. Nessa tese, optou-se por um destaque especial para o mecanismo de detecção automática de esperas. Os experimentos comprovaram a efetividade do mecanismo para detecção automática de esperas, inclusive com a capacidade de distinguir o tempo de espera do tempo de provisão do serviço. Uma versão preliminar e gratuita desse aplicativo foi disponibilizada nas principais lojas de distribuição e pode ser encontrada pelo nome Demorô.

Capítulo 5 – Cenário de aplicação: estimativa da quantidade de pessoas

QP2: Como detectar a presença de pessoas em localidades de forma totalmente transparente sem qualquer necessidade de intervenção humana?

Nesse capítulo será descrito o mecanismo proposto nesse trabalho que tem por objetivo monitorar a presença de pessoas através de evidências deixadas por dispositivos sem fio que utilizem-se da tecnologia *WiFi*. Equipamentos que ofereçam aos seus utilizadores a funcionalidade de conexão em redes *WiFi* possuem um comportamento padrão que consiste em descobrir redes sem fio que estejam ao seu redor. Esse tipo de funcionalidade é proporcionado através de mensagens padrão que são enviadas por clientes e por pontos de acesso de rede sem fio. Os roteadores são responsáveis por enviar mensagens do tipo Beacons, essas mensagens tem por objetivo divulgar que existe um roteador naquela região ofertando uma determinada rede *WiFi*. Por outro lado, os clientes de rede sem fio também enviam mensagens padronizadas, as mensagens enviadas pelos clientes são chamadas de *Probe Requests*. O objetivo dessas mensagens é sinalizar a presença de um cliente de rede sem fio, e solicitar de forma genérica ou dirigida a um roteador específico informações que permitam a conexão em redes sem fio. Todas essas mensagens são parte integrante do padrão IEEE 802.11⁴.

Na Seção 5.1 serão apresentadas características sobre as mensagens *probe requests* exploradas nesse trabalho, na Seção 5.2 serão descritos aspectos importantes sobre a necessidade de uso de múltiplas antenas e um mecanismo de revezamento de canal. Na sequência, na Seção 5.3 será apresentada a máquina de estado projetada para 5.4 gerenciar a detecção de presença e ausência de dispositivos. Na Seção 5.5 será descrito o hardware utilizado para realização dos experimentos. Por fim, na Seção 5.6 serão apresentados os experimentos realizados e os respectivos resultados.

⁴ <http://www.ieee802.org/11/>

5.1. Características das transmissões de *Probe Requests*

Esse trabalho se propõe a detectar a presença de pessoas através de evidências deixadas no meio sem fio. Foi introduzido na Seção 2.6, aspectos iniciais sobre esse tipo de sensoriamento. A principal característica dessa estratégia é que algumas informações propagadas no meio sem fio podem ser ouvidas por qualquer nó que esteja dentro de um determinado raio de alcance. Nesse trabalho, temos atenção especial por um tipo de transmissão denominada *Probe Request*, que é uma mensagem enviada por clientes sem fio durante o processo ativo de varredura de redes sem fio. Clientes de redes sem fio realizam varreduras de forma contínua, independente de estarem ou não estarem conectados à alguma rede. Mesmo quando os clientes sem fio já estão conectados em alguma rede, eles continuam fazendo esse tipo de varredura com o objetivo de encontrar uma rede com maior intensidade de sinal, ou alguma rede que o usuário declare maior preferência. Outra característica importante é que esse tipo de transmissão é feita somente por clientes de rede sem fio, outros dispositivos como roteadores ou pontos de acesso não fazem esse tipo de transmissão. A união dessas duas características motivou neste pesquisador o uso dessa estratégia para detectar a presença de dispositivos, e por consequência estimar a quantidade de pessoas em localidades.

Diferente das transmissões de *beacons*, feitas por roteadores, que são feitas de forma periódica, as transmissões de *probe requests* feitas por clientes não seguem um padrão fixo de envio.

A Figura 32 exibe uma visualização parcial de dados coletados durante um experimento feito em uma sala de aula. As linhas exibem dados dos cinquenta dispositivos detectados que realizaram maior número de transmissões de *probe requests*. Nas colunas são representados intervalos de um minuto, denominados slots, sendo nessa imagem exibidos então os *probes* recebidos do slot 1 até o slot 90. A cor de cada uma das células indica a quantidade de *probes* detectados para cada cliente sem fio dentro de um determinado slot. A cor branca indica que nenhum *probe* foi detectado, e tons mais escuros de verde indicam que um número maior de *probes* foi detectado. Nessa observação, o número de *probes* detectados dentro de um mesmo slot variou de zero até algumas centenas entre as diferentes origens.

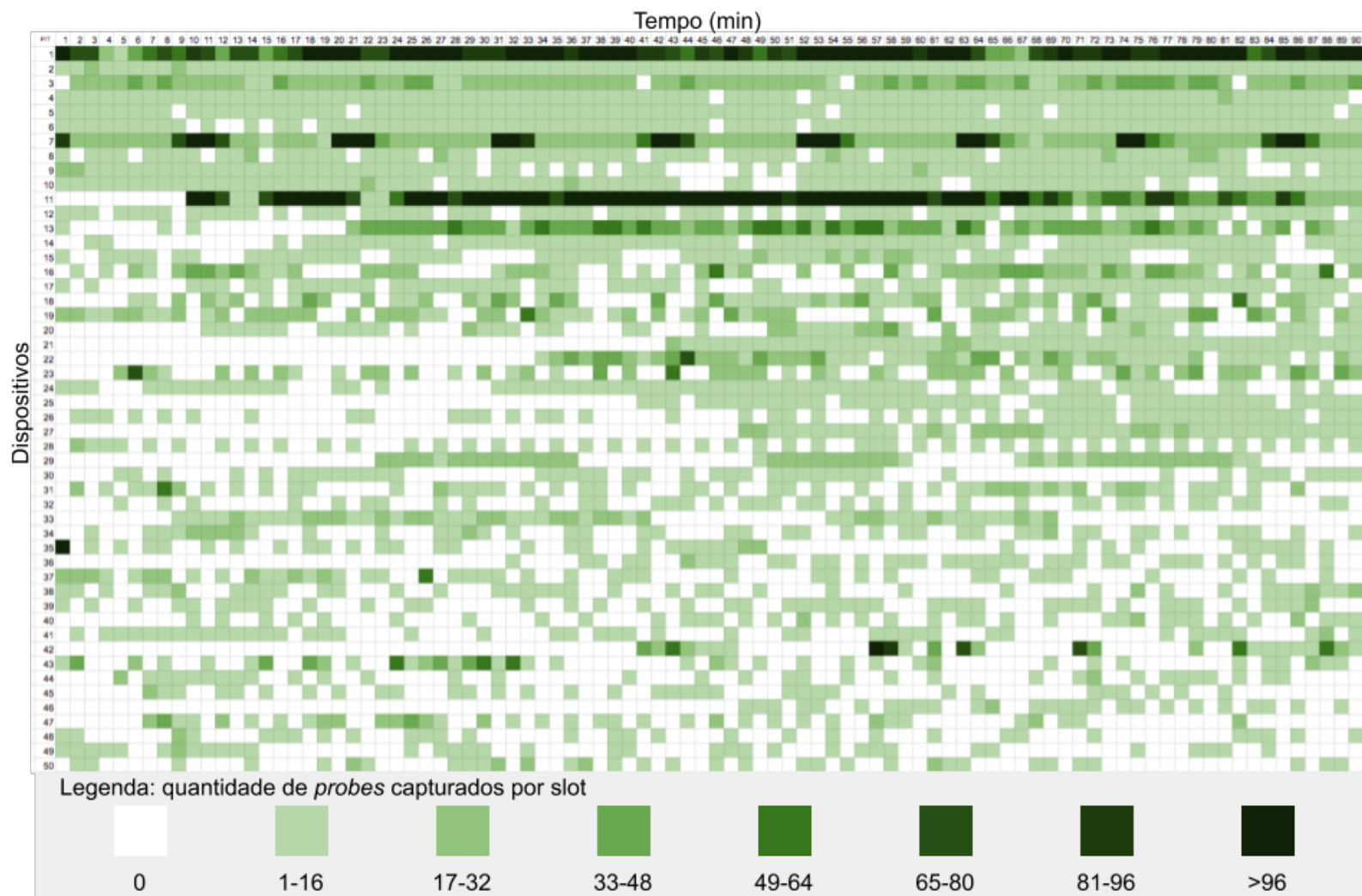


Figura 32. Intensidade de envio de *probe* requests por cada origem em cada slot (elaborada pelo próprio autor)

A Figura 32 permite observar diferentes padrões de comportamento para diferentes origens. O participante número 1, por exemplo, mantém um ritmo elevado de transmissões de *probe requests* em todos slots durante todo o período de escuta do meio sem fio. O participante número 50, foi detectado dos minutos iniciais até os finais do experimento, porém manteve intervalos variáveis em que não fez transmissões durante o período de escuta. Como pode-se perceber diferentes clientes sem fio, desenvolvidos por diferentes fabricantes, dotados de diferentes sistemas operacionais, dentre outras características distintas podem apresentar diferentes comportamentos no que tange ao envio de *probe requests*. A simples detecção de uma transmissão do tipo *probe request* não significa que um determinado nó esteja presente em uma determinada localidade. Da mesma forma, a ausência de *probes* de uma determinada origem por algum intervalo de minutos não significa necessariamente que um dispositivo ausentou-se de uma determinada localidade.

A detecção de um único *probe*, não é suficiente para determinar que um determinado cliente esteve presente em uma determinada localidade por um período significativo de tempo. Em muitos casos, dispositivos portados por pessoas que estão passando por um corredor nas proximidades de uma sala monitorada são detectados pelo dispositivo Sherlock. A Figura 33 exhibe dados reais de experimento do Sherlock, onde é feita uma comparação entre a quantidade total de dispositivos detectados e a quantidade de dispositivos persistentes. Para que um dispositivo seja contabilizado na quantidade total, basta que esse dispositivo tenha sido detectado uma única vez. Por outro lado, para que um cliente sem fio seja considerado persistente, ele deve ser detectado em todas as rodadas anteriores.

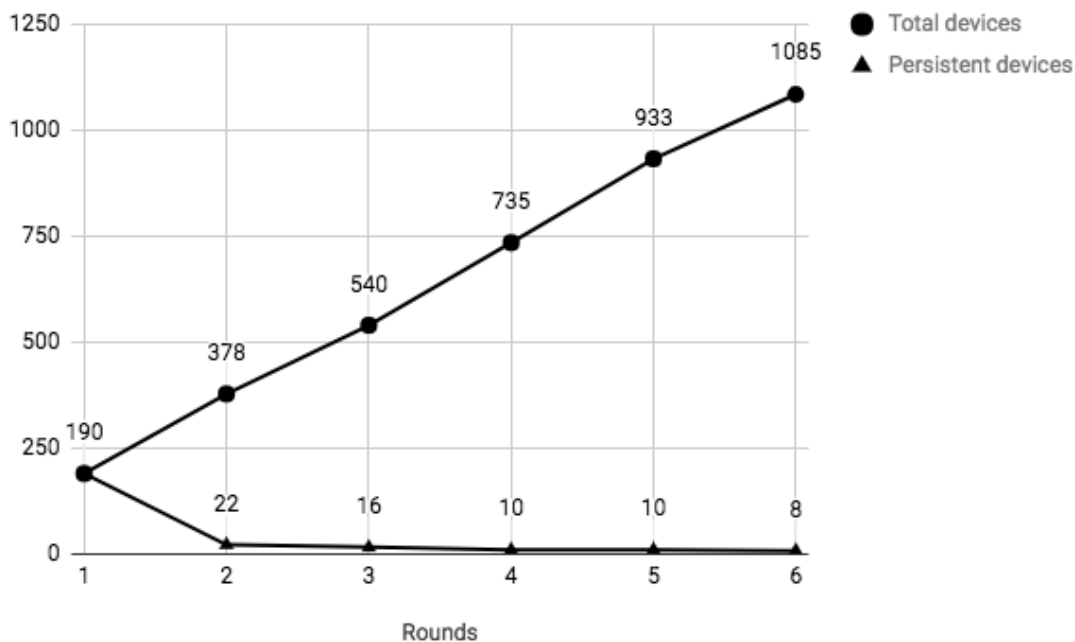


Figura 33. Número de dispositivos totais versus número de dispositivos continuamente detectados (*adaptado de OLIVEIRA et al., 2018*)

A *Figura 33* mostra que durante o período de escuta do meio sem fio foi possível perceber transmissões de *probe requests* oriundas de 1085 origens distintas, não sendo esta certamente a quantidade de dispositivos presentes no interior da sala. Por outro lado, a quantidade de dispositivos persistentes não necessariamente representa a quantidade de dispositivos presentes na sala, visto que dispositivos podem deixar de transmitir *probes* por alguns intervalos mesmo quando estão presentes. Uma saída poderia ser avaliar a intensidade de sinal das transmissões, e com isso separar transmissões feitas por clientes que estão no interior ou exterior de uma determinada localidade, porém esse tipo de estratégia não se mostra eficaz, devida a limitações do uso dessa intensidade para fins de localização indoor (LUI et al., 2011). É fácil perceber que não existe uma solução trivial para separar as transmissões *probe requests* desejadas e indesejadas.

Uma vez conhecidas algumas das características do envio de *probe requests*, faz-se necessário então projetar um mecanismo que seja capaz de detectar a presença, permanência e a saída de dispositivos de uma determinada localidade. Um mecanismo proposto por este autor baseado na modelagem de uma máquina de estado será apresentado na seção a seguir.

5.2. Mecanismo de revezamento de canal

O segundo dispositivo proposto nesta tese tem como principal função monitorar o meio com o objetivo de detectar mensagens do tipo *Probe Requests* enviadas por clientes de redes sem fio. Essas mensagens são enviadas sem qualquer tipo de criptografia, e por esse motivo não configura-se grande complexidade para ouvi-las. Cabe ressaltar que as mensagens em questão, podem ser enviadas nos quatorze diferentes canais utilizados por redes *WiFi* 2.4 GHz. Cada canal representa um espectro de frequência utilizado, e essa distribuição em canais tem por objetivo minimizar as colisões em transmissões de redes sem fio.

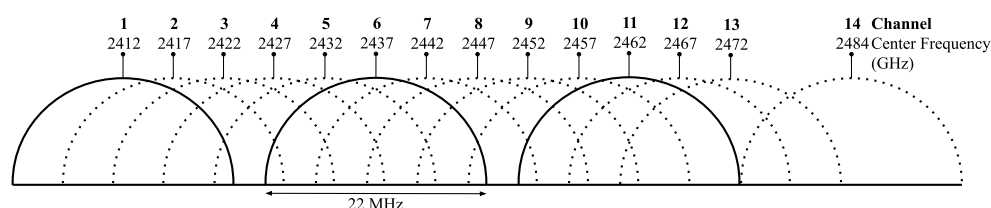


Figura 34. Canais de comunicação utilizados por redes *WiFi* 2.4 GHz (adaptado de OLIVEIRA et al., 2019)

A Figura 34 exibe os quatorze diferentes canais utilizados por redes *WiFi* 2.4 GHz, especificando também o centro do espectro de frequência de cada um dos canais. A imagem fornece destaque especial aos canais 1, 6 e 11, que por não possuírem sobreposição de espectro de frequência entre si, são os canais geralmente mais utilizados por roteadores sem fio. Devido a essa característica, de não possuírem sobreposição de sinal entre si, esses são os canais geralmente utilizados por fabricantes na configuração padrão de seus equipamentos. Todos os quatorze canais podem ser utilizados pelos clientes e pelos pontos de acesso sem fio, porém, não existe qualquer garantia sobre como os clientes ou os roteadores sem fio estarão distribuídos nos diferentes canais de transmissão.

Um equipamento que tenha por objetivo detectar transmissões do tipo *probe* deverá ouvir os quatorze diferentes canais de transmissão que podem ser utilizados por clientes de redes sem fio. Uma limitação comum de chipsets de placas de rede sem fio, diz respeito a capacidade de ouvir ou transmitir informações em apenas um canal de transmissão por vez. Esse tipo de limitação é comum a clientes e roteadores de redes sem fio. Sob o ponto de vista dos pontos de acesso sem fio, os administradores de redes podem configurar os seus roteadores para utilizarem um, e somente um, dos canais de

transmissão sem fio para cada interface de rede em fio. Porém, sob a perspectiva de clientes de redes sem fio, no que tange ao processo de descoberta de redes sem fio, não é possível presumir em quais canais de transmissão os roteadores ao seu redor estarão, por esse motivo, cabe então ao cliente enviar esse tipo de mensagem em múltiplos canais.

Sendo assim, o equipamento utilizado para monitorar o envio de mensagens do tipo *probe* deverá adotar alguma estratégia que aborde o revezamento de escuta dos diferentes canais de transmissão, considerando a limitação de rádios sem fio no que tange à capacidade de serem sintonizados para ouvirem apenas uma frequência de transmissão por vez. A exceção a essa regra são os equipamentos de redes sem fio classificados como MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), esses equipamentos possuem mais de uma interface de rede sem fio, e com isso conseguem ouvir ou transmitir informações em mais de um canal de transmissão por vez. A utilização de equipamentos que possuam mais de uma interface de rede sem fio pode maximizar as chances de detectar transmissões do tipo *probe*.

Considerando um dispositivo que tenha apenas uma interface de rede, essa interface precisa ser revezada entre os quatorze canais de transmissão, considerando uma rede *WiFi* de 2.4GHz. Dessa forma a interface de rede permanece sintonizada em cada um dos canais apenas por $1/14$ do tempo total, desconsiderando o tempo necessário para fazer a mudança de canal. A medida que o número de interfaces (N_{int}) do dispositivo projetado aumenta, o tempo de escuta em cada um dos canais aumenta proporcionalmente. A proporção de tempo de escuta para cada canal (PEC) pode ser calculada como :

$$PEC = \frac{N_{int}}{N_{chn}},$$

onde N_{int} é o número de interfaces; e N_{chn} é o número de canais monitorados.

O uso de múltiplas interfaces se faz ainda mais premente quando são considerados padrões mais atuais de redes *WiFi*. O padrão IEEE 802.11ac especifica o uso de 25 canais de 20 MHz sem sobreposição (BEJARANO; KNIGHTLY; PARK, 2013). O padrão especifica ainda a combinação de canais de 20MHz provendo até 12 canais de 40 MHz, ou 6 canais de 80 MHz ou 2 de 160 MHz, conforme pode ser visto na *Figura 35*.

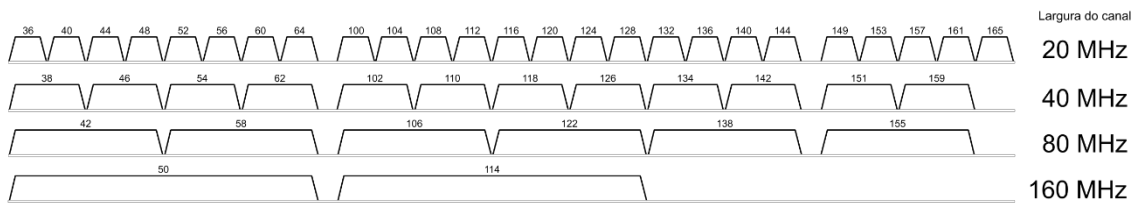


Figura 35. Canais de comunicação utilizados por redes *WiFi* 5GHz (elaborada pelo próprio autor)

5.3. Modelagem da máquina de estado

De acordo com (GILL, 1962) máquinas de estados finitos são máquinas abstratas que capturam partes essenciais de algumas máquinas concretas. Uma máquina de estado finito ou autômato de estado finito, autômato finito, ou simplesmente uma máquina de estado, é um modelo matemático-computacional. É uma máquina abstrata que pode estar exatamente em um de um número finito de estados a qualquer momento. Uma máquina de estado finito pode mudar de um estado para outro em resposta a algumas entradas externas; e a mudança de um estado para outro é chamada de transição. Uma máquina de estado finito é definida por uma lista de seus estados, seu estado inicial e as condições de cada transição (“Finite-state machine”, 2019).

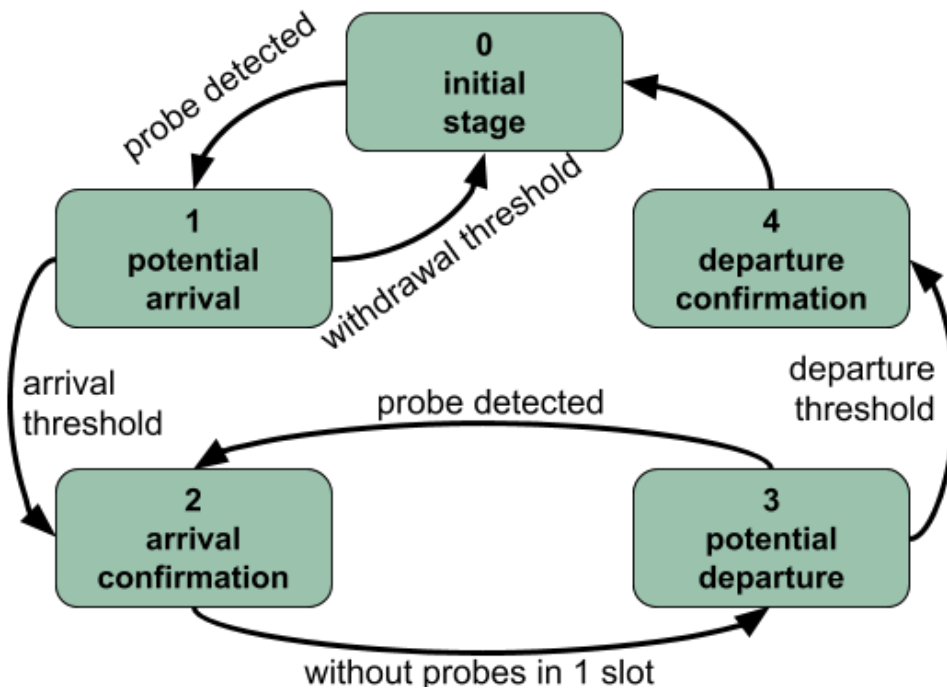


Figura 36. Máquina de estado (adaptado de OLIVEIRA et al., 2019)

Na *Figura 36* pode-se ver a representação da máquina de estado modelada para detectar a chegada, permanência e a saída de dispositivos através da monitoração de transmissões de *probe requests*. A máquina de estado é instanciada toda vez que um novo endereço MAC realizando transmissão de *probe request* é percebido pelo Sherlock. Quando uma transmissão de *probe* de uma determinada origem é detectada pela primeira vez, a máquina avança para o estágio 1 (chegada potencial). As próximas transmissões detectadas são então agrupadas em slots (duração padrão de 1 minuto) para serem avaliadas em uma base consolidada. A chegada potencial precisa ser confirmada, e isso ocorre quando pelo menos uma transmissão de *probe* da mesma origem é observada por A_T (arrival threshold) slots, após o slot em que a chegada potencial foi detectada. Quando esse limite for atingido, a máquina avança para o estágio 2 (confirmação de chegada). Uma chegada em potencial não será confirmada se forem observados W_T (withdraw threshold) slots consecutivos sem detecção de *probes* durante a fase de confirmação de chegada. Nesse caso, a máquina retorna ao estágio inicial.

Quando a chegada de um dispositivo é confirmada, também é necessário detectar a sua partida. Quando nenhum *probe* de uma determinada origem é detectado em qualquer slot, a máquina avança para o estágio 3 (partida potencial). Da mesma forma, um possível evento de partida precisa ser confirmado, e isso ocorre quando não é possível observar pelo menos uma transmissão de *probe* da mesma fonte por D_T (*departure threshold*) slots, contados a partir do slot em que a partida potencial foi detectada. Quando esse limite é atingido, a máquina avança para o estágio 4 (confirmação de partida). Uma partida potencial pode não ser confirmada na situação em que o mecanismo percebe algum *probe* dessa origem antes que D_T seja atingido. Nesse caso, a máquina de estado retorna ao estágio 2 (confirmação de chegada). Uma vez que a partida de um dispositivo foi confirmada, este dispositivo retorna ao estado inicial da máquina de estado e está sujeito a uma nova detecção.

Uma reanálise da *Figura 32* permite perceber que a variação dos parâmetros A_T , W_T , D_T exerce forte influência sob a detecção da chegada e da partida de dispositivos. A variação desses parâmetros será objeto de estudos de experimentos descritos na Seção 5.6.3.

5.4. Prototipação de hardware

Nessa seção será apresentada a última versão do protótipo de hardware que foi construído para realização de experimentos. Detalhes sobre as versões anteriores podem ser vistos no Apêndice B. Uma prática bastante comum utilizada por desenvolvedores é a produção de protótipos, esse tipo de estratégia é muito utilizada tanto no contexto de desenvolvimento de hardwares quanto no desenvolvimento de softwares. Especialmente no que diz respeito ao desenvolvimento de hardwares, a prototipação possui papel essencial, visto que pode ser muito custoso a produção de um hardware específico logo nos estágios iniciais de desenvolvimento de um projeto.

O Sherlock é um dispositivo capaz de inspecionar o meio sem fio em busca de evidências da presença de dispositivos *WiFi*. Esse dispositivo deve ser capaz de inspecionar os múltiplos canais de rede sem fio. Considerando a limitação de cada interface de monitorar apenas um canal por vez, um aspecto que precisa ser investigado é o potencial benefício do uso de múltiplas interfaces de rede. A implantação de múltiplas interfaces de rede exige um hardware mais robusto, diferente do utilizado pelas primeiras versões do Sherlock.

Para implantação de múltiplas interfaces e para ampliar as possibilidades de implementação de software optou-se por migrar para uma plataforma micro processada e que contemplasse uma camada de sistema operacional. A plataforma ESP8266 é micro controlada, proporcionando um acesso mais próximo ao hardware, porém sem as conveniências de um sistema operacional.

Após um processo de pesquisa por plataformas de hardware, foi escolhido o Raspberry Pi, que é uma plataforma computacional de baixo custo, micro processada e de desempenho satisfatório. Além disso, existem diversas distribuições do sistema operacional GNU/Linux que suportam o uso desse hardware, o que permite o uso de linguagens e bibliotecas com maior nível de abstração.

Para endereçar a necessidade do dispositivo ter múltiplas interfaces de rede foram acopladas interfaces *WiFi* através das portas USB disponíveis no hardware Raspberry Pi. Foram pesquisadas placas de rede externas que possuíssem suporte a atuação em modo promíscuo, que permite uma interface de rede interceptar todas as transmissões do meio sem fio ao seu alcance, mesmo aquelas em que ela não é a destinatária final da mensagem.



Figura 37. Interface *WiFi* USB com o chipset Ralink RT5370 (elaborada pelo próprio autor)

A plataforma computacional escolhida foi o microcomputador Raspberry Pi 3 modelo B, cuja configuração inclui um CPU Quadcore de 1.2 GHz e 1 GB de memória RAM. Para acoplar as interfaces *WiFi* USB externas foi utilizado um hub USB, pois características físicas do adaptador USB, conforme pode ser visto na *Figura 37*, impediam que as interfaces USB fossem acopladas lado a lado diretamente ao microcomputador.



Figura 38. Visão geral do dispositivo Sherlock com a plataforma Raspberry Pi (elaborada pelo próprio autor)

Na *Figura 38* pode-se ver uma visão geral do dispositivo Sherlock montado sob a plataforma Raspberry Pi. Na imagem, é possível perceber na parte esquerda superior o módulo RTC, responsável por manter as informações de data e hora mesmo sem fornecimento de energia elétrica. Na parte direita superior é possível perceber um visor

LCD, responsável por exibir informações relevantes durante os experimentos, como o estado de operação do equipamento e a quantidade parcial de *probes* detectados. Na parte inferior da imagem pode-se ver o hub USB com as interfaces *WiFi* acopladas. Por fim, no centro da imagem pode-se conferir o microcomputador Raspberry Pi 3 conectado a todos módulos e embarcado com o software Sherlock.

5.5.Avaliação e desempenho

Nessa seção serão discutidas as métricas utilizadas para avaliar a eficácia do mecanismo proposto nesse trabalho para estimar a quantidade de pessoas em localidades. O principal objetivo dessa seção é medir o desempenho do mecanismo Sherlock através da avaliação seu desempenho na produção de suas estimativas da quantidade de pessoas.

Para que seja possível medir a precisão das estimativas feitas pelo mecanismo Sherlock é necessário comparar o valor estimado de pessoas com o valor real. Para isso, foi necessário projetar uma forma confiável de computar a quantidade real de pessoas em cada instante do experimento. Para produção desse conjunto de dados, foi desenvolvido um aplicativo móvel, nomeado de Mais1Menos1, para registro das observações visuais do pesquisador durante o experimento. O funcionamento desse aplicativo é muito simples, conforme ilustrado na *Figura 39*. No primeiro passo, o pesquisador deve apertar um botão para iniciar o experimento, nesse momento é iniciado um cronômetro que registra a duração do experimento. Na sequência, o pesquisador deve pressionar o botão “+1” toda vez que visualizar uma pessoa entrando no ambiente monitorado, e o botão “-1” toda vez que visualizar alguém saindo do ambiente monitorado. Ao término do experimento deve ser pressionado o botão para finalização do experimento, quando o aplicativo disponibiliza opções para envio desses dados.



Figura 39. Tela do aplicativo Mais1Menos1 criado para registro do *ground truth* (elaborada pelo próprio autor)

O conjunto de dados produzido por esse aplicativo corresponde ao valor real de pessoas que está presente dentro do ambiente monitorado no decorrer do tempo de duração do experimento, manualmente reportado pelo pesquisador através de suas observações visuais. Essa medida será chamada de “*ground truth*” e será frequentemente comparada com as estimativas produzidas pelo mecanismo Sherlock para medir a acurácia e precisão de tais estimativas.

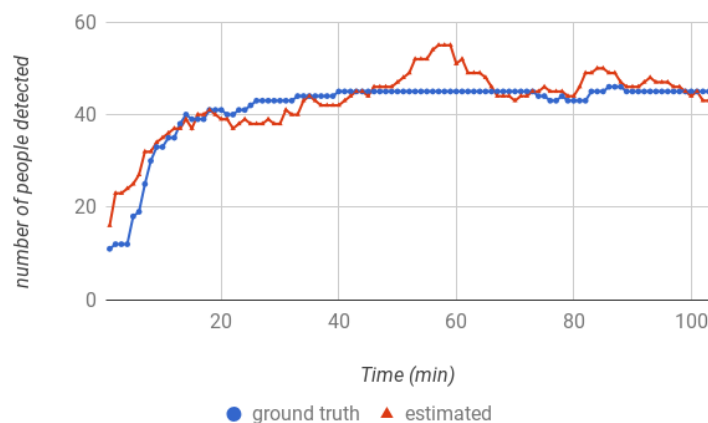


Figura 40. Comparação entre *ground truth* e estimativa (elaborada pelo próprio autor)

A *Figura 40* exibe uma comparação entre o valor *ground truth* registrado pelo pesquisador e o valor estimado pelo mecanismo Sherlock. Vale salientar que o mecanismo Sherlock não utiliza o valor de *ground truth* para produção de suas estimativas, esse dado é utilizado somente pelos pesquisadores para fins de avaliação do desempenho do mecanismo.

Em relação as curvas exibidas na *Figura 40* será estudada a correlação entre elas e o erro médio da estimativa. A correlação será medida através do Coeficiente de correlação de Pearson. E o erro será calculado através de duas métricas: o erro médio absoluto, ou “*Mean Absolute Error*” (MAE) e o erro relativo médio, ou “*Mean Relative Error*” (MRE).

O estudo da correlação tem por objetivo entender como uma variável se comporta em um cenário onde outra está variando, com o intuito de identificar se existe alguma relação entre a variabilidade de ambas. O coeficiente de correlação de Pearson exprime o grau de correlação entre duas variáveis quantitativas através de valores situados entre -1 e 1. Considerando duas variáveis, dizemos que há uma relação linear positiva, coeficiente de correlação próximo de 1, quando nota-se uma variação com a mesma proporção e magnitude entre as duas variáveis, por exemplo, quando uma variável aumenta a outra também aumenta. Por outro lado, considera-se uma correlação negativa ou inversa, coeficiente de correlação próximo de -1, quando ocorre a mesma variação proporcional, porém com magnitudes inversas, ou seja, quando o valor de uma variável aumenta e o da outra diminui.

Além da avaliação da correlação, nesse trabalho preocupou-se também com a avaliação do erro. O erro absoluto será definido como a distância entre o valor real e o valor estimado. O erro relativo será o quociente entre o erro absoluto e o valor real.

Seja x o valor real, e \bar{x} o valor estimado:

$$\text{Erro absoluto} = |x - \bar{x}|$$

$$\text{Erro relativo} = \frac{|x - \bar{x}|}{x}$$

Conhecendo agora as definições matemáticas de erro absoluto e erro relativo, podemos estender esses conceitos para erro absoluto médio e o erro relativo médio. De acordo com (MENTZER; MOON, 2004) o erro médio absoluto (MAE) mede o

afastamento médio das previsões em relação ao valores observados, constituindo na média dos erros de previsão. O erro médio relativo (MRE) mede o afastamento em relação ao valor real. Uma previsão com boa acurácia deve possuir um erro próximo de zero.

$$MAE = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N |x - \bar{x}|$$

$$MRE = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \frac{|x - \bar{x}|}{x}$$

A inclusão de diferentes indicadores nas etapas de avaliação dos dados coletados durante os experimentos permite que o mecanismo proposto no escopo dessa pesquisa seja comparado com resultados de outros grupos de pesquisadores. Essa comparação será objeto de estudo do Capítulo 6.

5.6.Experimentos e Resultados

Nessa seção serão discutidos os experimentos relacionados à QP2: “Como detectar a presença de pessoas em localidades de forma totalmente transparente sem qualquer necessidade de intervenção humana?”. Na Seção 5.6.1 serão apresentados resultados de uma pesquisa inicial que teve o objetivo de medir a responsividade do mecanismo de detecção de presença através da inspeção do meio sem fio em busca de transmissões de quadros *probe requests*. Nas seções 5.6.2 e 5.6.3 serão apresentados resultados experimentais do mecanismo de detecção de presença capaz de produzir estimativas da quantidade de pessoas presentes em uma determinada localidade.

5.6.1.Avaliando a responsividade do método de inspeção de *probe requests* para detecção de presença

Nesta seção, descreveremos o experimento proposto para verificação da viabilidade da detecção de presença de dispositivos através de evidências deixadas no meio sem fio. Esse experimento foi projetado para atingir dois objetivos: (a) confirmar a capacidade do dispositivo de detectar a transmissão de *probes* por dispositivos móveis; e (b) para medir a eficácia e responsividade do mecanismo para detectar a presença de dispositivos móveis.

O experimento foi realizado com a participação de dez voluntários e dois pesquisadores envolvidos em atividades de controle. Os dez voluntários foram previamente cadastrados e as seguintes informações foram coletadas: marca/modelo do dispositivo móvel, versão do sistema operacional móvel e endereço MAC da interface *WiFi* do dispositivo móvel.

Para realização do experimento, duas salas (chamadas de salas 1 e 2) foram alocadas, suficientemente distantes uma da outra, de forma que os sinais *WiFi* emitidos em uma sala não chegassem à outra sala. O protótipo desenvolvido foi colocado na sala 1 e os dez voluntários foram inicialmente colocados na sala 2, conforme *Figura 41*.

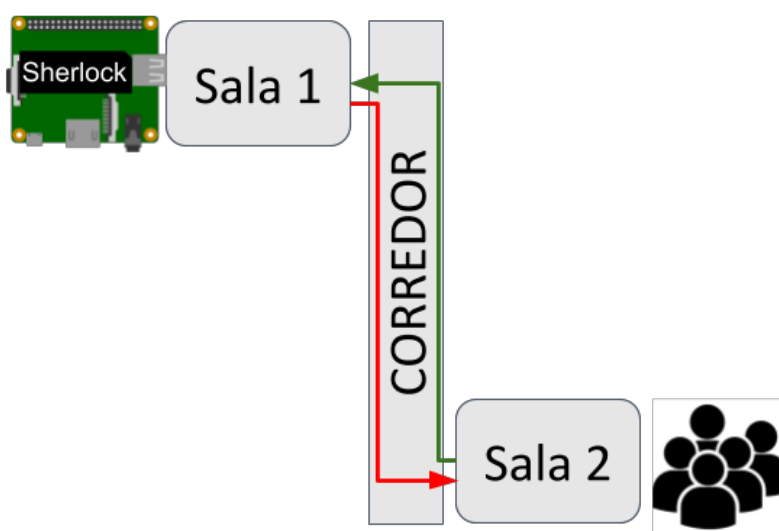


Figura 41. Configuração inicial do experimento (elaborada pelo próprio autor)

Cada um dos voluntários foi instruído a deixar a interface *WiFi* de seus dispositivos móveis ativados durante todo o experimento. O experimento foi dividido em seis rodadas, e em cada uma delas o voluntário deveria caminhar da sala 2 para a sala 1 e ficar nesta sala por cinco minutos. Após cinco minutos de estadia na sala 1, o voluntário deveria retornar para a sala 2. Durante a caminhada para a sala 1, o tempo de estadia na sala 1 e a caminhada de retorno à sala 2, o celular deveria ser mantido bloqueado e no bolso do voluntário. Os voluntários participantes do experimento poderiam usar seus smartphones somente quando estivessem na sala 2. Essa exigência foi colocada, para que o experimento verificasse a viabilidade de detecção de presença no cenário de pior caso, que é quando o celular está bloqueado e sem uso.

Os voluntários deveriam fazer esses turnos em sequência, um de cada vez, até que todos estivessem na sala 1, e a medida que cada participante alcançava 5 minutos de

estadia na sala 1, este retornava imediatamente para a sala 2. A próxima rodada só poderia ser iniciada quando todos os voluntários da rodada anterior já tivessem concluído o turno retornando para a sala 2. Esse movimento cíclico foi repetido para cada uma das seis rodadas. Cada vez que um voluntário chegava na sala 1, um dos pesquisadores pressionava um botão no dispositivo responsável por criar um evento que sinalizasse explicitamente a chegada do voluntário. Esses dados são usados pelos pesquisadores para verificar a precisão do mecanismo e não são utilizados em momento algum pelo dispositivo Sherlock.

A Tabela 6 descreve os metadados coletados dos participantes. Tais informações permitem a interpretação das tendências observadas durante o experimento. Dos dez aparelhos usados durante o experimento, sete deles tinham o sistema operacional Android, e apenas três deles usavam o sistema operacional iOS. Além do sistema operacional usado, os voluntários também foram questionados sobre a versão do sistema operacional móvel atualmente instalado em seu dispositivo.

Tabela 6. Informações sobre os aparelhos celulares dos voluntários

Participante	Marca/Modelo	OS
Participante 1	Moto G Play	Android 6.0.1
Participante 2	iPhone SE	iOS 11.0.3
Participante 3	Galaxy S6	Android 7.0
Participante 4	Xiaomi Redmi 3S	Android 6.0.1
Participante 5	LG G2	Android 5.0.2
Participante 6	Moto G3	Android 7.1.2
Participante 7	Galaxy J7 Prime	Android 6.0.1
Participante 8	iPhone 6S	iOS 11.0.3
Participante 9	iPhone SE	IOS 11.0.3
Participante 10	Nexus 6P	Android 8.0.0

O experimento foi realizado em aproximadamente 1 hora e 17 minutos, durante os quais foram detectados 8.905 *probes*. Desse total, 15,25% foram identificados como originários dos dispositivos móveis dos participantes e 84,75% foram originados de aparelhos não identificados.

Os resultados iniciais evidenciaram um elevado número de *probes* recebidos de dispositivos não identificados. Esse tipo de detecção é esperada, considerando que a sala

não possuía nenhum tipo de isolamento para evitar receber sinais externos. Considerando que a implementação de tal mecanismo de isolamento poderia inviabilizar esse tipo de abordagem, a solução proposta neste trabalho é a implementação de filtros capazes de diferenciar os *probes* recebidos pelos dispositivos que estão dentro da sala, daqueles recebidos pelos dispositivos que são fora da sala monitorada. Este filtro pode ser implementado levando em consideração pelo menos duas abordagens: (a) recebimento persistente de *probes* ao longo do tempo; e (b) nível de intensidade de sinal (RSSI). A primeira abordagem se concentra em verificar se um determinado dispositivo detectado permanece detectável ao longo do tempo. Desta forma, é possível eliminar, por exemplo, detecções de dispositivos que passaram apenas perto da sala monitorada. A segunda abordagem consiste em avaliar o nível de intensidade de sinal das transmissões feitas.

Nesse primeiro experimento, os dispositivos no interior da sala são previamente conhecidos, devido a coleta dos metadados especificados na Tabela 6. Dessa forma, foram aplicados filtros para avaliar somente os *probes* enviados cujo o endereço de origem do quadro de *probe request* seja de um dos participantes do experimento.

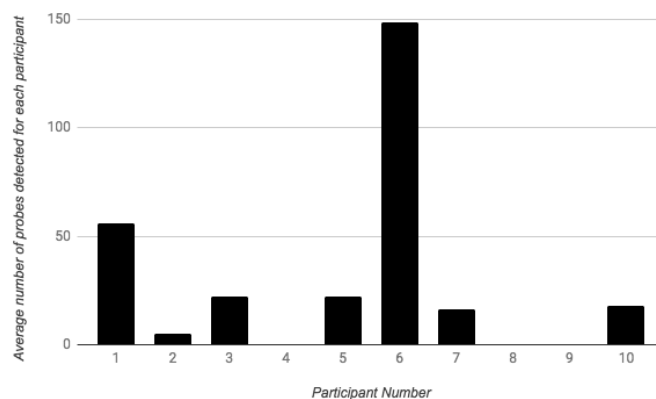


Figura 42. Número médio de *probes* detectados para cada participante durante as seis rodadas (*adaptado de OLIVEIRA et al., 2018*)

A Figura 42 exibe o número médio de *probes* para cada participante durante as seis rodadas. Após análise inicial dos dados, observou-se que seis dos dez aparelhos puderam ser detectados automaticamente em todas as rodadas, sendo os utilizados pelos participantes 1, 3, 5, 6, 7 e 10. O aparelho utilizado pelo participante 2 não pôde ser detectado em apenas uma rodada, sendo detectado em todas as outras. Fechando a lista, os dispositivos usados pelos indivíduos 4, 8 e 9 não puderam ser detectados durante o experimento. A suspeita é que esses dispositivos implementaram o mecanismo de randomização de endereço MAC, já descrito em (FREUDIGER, 2015). Essa técnica

consiste em usar um endereço MAC aleatório não licenciado para enviar *probes* a fim de proteger a privacidade do usuário.

O próximo objetivo será medir o tempo que leva para um dispositivo ser detectado ao entrar em um ambiente monitorado. Como explicado anteriormente, quando cada um dos voluntários entrou na sala, um botão do mecanismo foi pressionado, responsável por salvar o instante de tempo em que tal evento ocorreu. Com essas informações, os pesquisadores puderam comparar a detecção de presença feita automaticamente pelo mecanismo e o monitoramento manual feito pelos pesquisadores. Assim, o "tempo decorrido até a detecção automática" foi considerado como sendo a diferença entre o tempo de detecção manual e o instante de tempo da detecção automática.

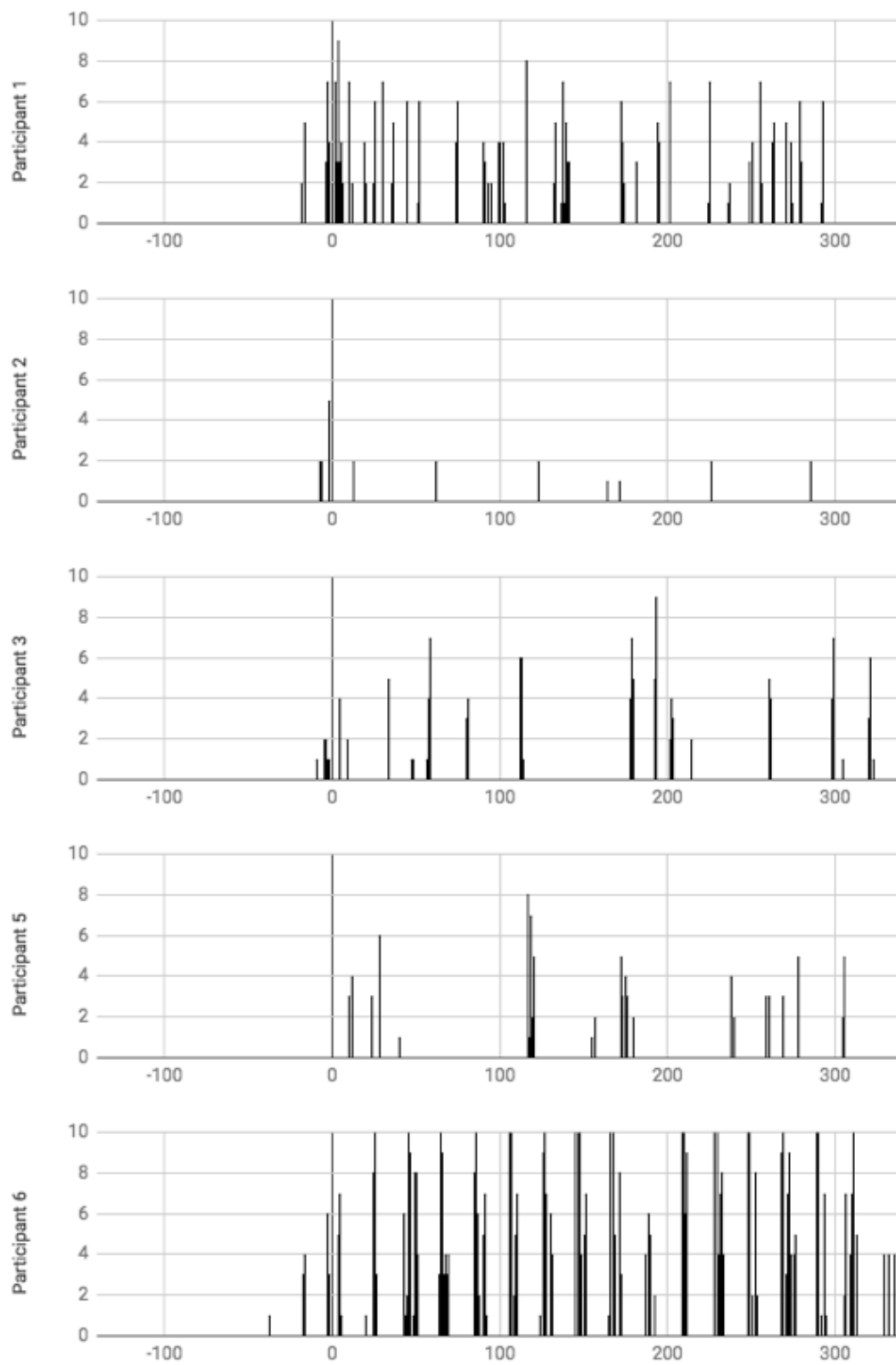


Figura 43. Análise temporal de *probes* detectados durante as seis rodadas (parte A) (adaptado de OLIVEIRA et al., 2018)

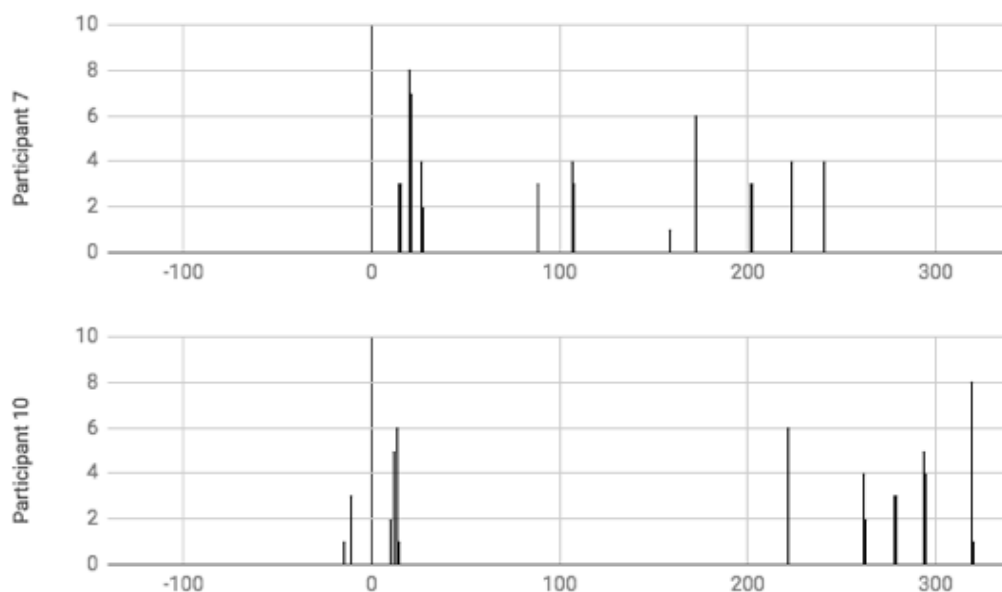


Figura 43. Análise temporal de *probes* detectados durante as seis rodadas (parte B) (adaptado de OLIVEIRA et al., 2018)

A Figura 43, partes A e B mostram a quantidade de *probes* detectados a cada segundo, tomando como referência temporal o acionamento do botão que sinaliza explicitamente a chegada do voluntário na sala de experimentos. O eixo X representa a distância em segundos do evento até que o botão seja pressionado. Os eventos com posição negativa no espectro temporal foram aqueles detectados antes do botão ser pressionado. O gráfico acima mostra os dados consolidados das seis rodadas para cada um dos participantes, nos intervalos de tempo de -140s a 340s.

Os eventos detectados antes de o botão ser pressionado geralmente se referem à detecção da presença da pessoa antes que ela chegue na sala. Nos casos em que os *probes* foram detectadas até 3 segundos antes do botão ser pressionado, não necessariamente o voluntário ainda não havia chegado na sala, pois foi reportado pelo pesquisador responsável por apertar o botão que às vezes ele levava alguns segundos para reagir e acionar o mecanismo depois de visualizar o participante.

A Figura 43 sugere a viabilidade de usar *probes requests* para monitorar a presença de pessoas. Para que um monitoramento de presença seja bem sucedido, além da presença é necessário monitorar a permanência das pessoas, o que no nosso caso é evidenciado pela persistência da transmissão e detecção das sondas pelo participante em questão. A mera detecção da presença de um dispositivo pode estar sujeita a vários tipos de ruídos, pois a pessoa pode estar apenas passando pelo corredor perto da sala.

No entanto, quando a detecção da presença é acompanhada de várias detecções de permanência, reforça a tese de que o participante está na sala em questão, ou pelo menos em alguma sala próxima. Os gráficos mostram que os dispositivos não deixam de enviar *probes* durante o tempo de permanência na sala, o que é fundamental para garantir a detecção da permanência.

Através dos dados obtidos nas seis rodadas de experimento também foi possível produzir um conjunto de dados agregado. Considerando os dados das seis rodadas, foram realizadas 41 detecções de presença. Além disso, a Figura 44 mostra como essas detecções foram distribuídas em relação ao tempo necessário para detectar o primeiro *probe* a partir da entrada do participante na sala. A Figura 44 mostra que 26 detecções de presença, ou 66,41% do total, foram feitas em menos de 30s; 7,32% foram detectados na faixa de 30-60s; 4,88% em 60-90s; 12,19% em 90-120s e 12,19% em tempos superiores a 150s. O resultado mostra que a maioria das detecções pôde ser feita em menos de 30 segundos e que apenas a minoria delas precisa de mais de 150 segundos para ser executada.

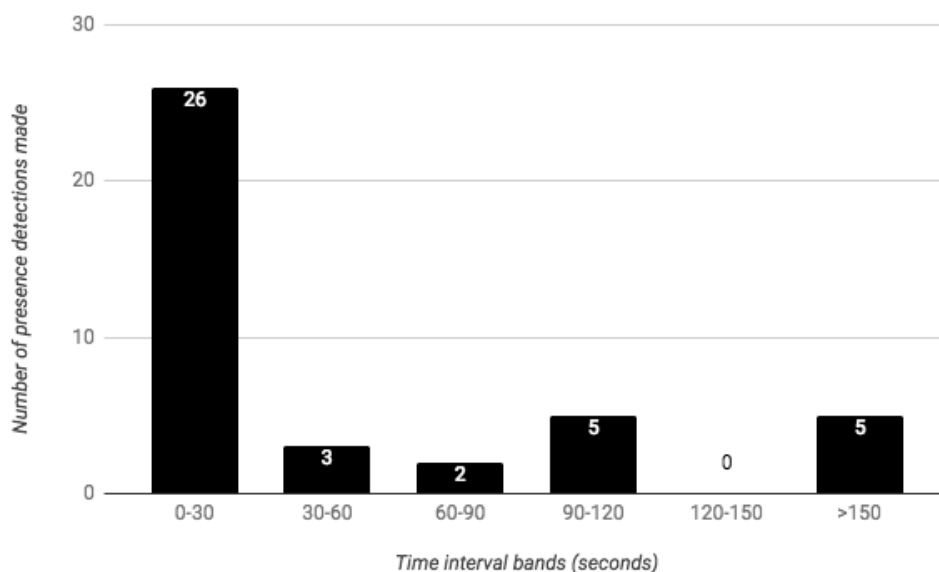


Figura 44. Número de detecções feita em cada uma das faixas temporais (adaptado de OLIVEIRA et al., 2018)

Na próxima seção será descrito um experimento mais robusto que valida a detecção da presença de pessoas e dispositivos sem conhecimento prévio de informações sobre os aparelhos celulares dos participantes.

5.6.2. Investigando o uso de múltiplas interfaces de rede

Nesta seção, serão descritos os experimentos realizados afim de investigar os possíveis benefícios do uso de múltiplas interfaces de rede para inspeção do meio sem fio em busca de transmissões de *probe request*.

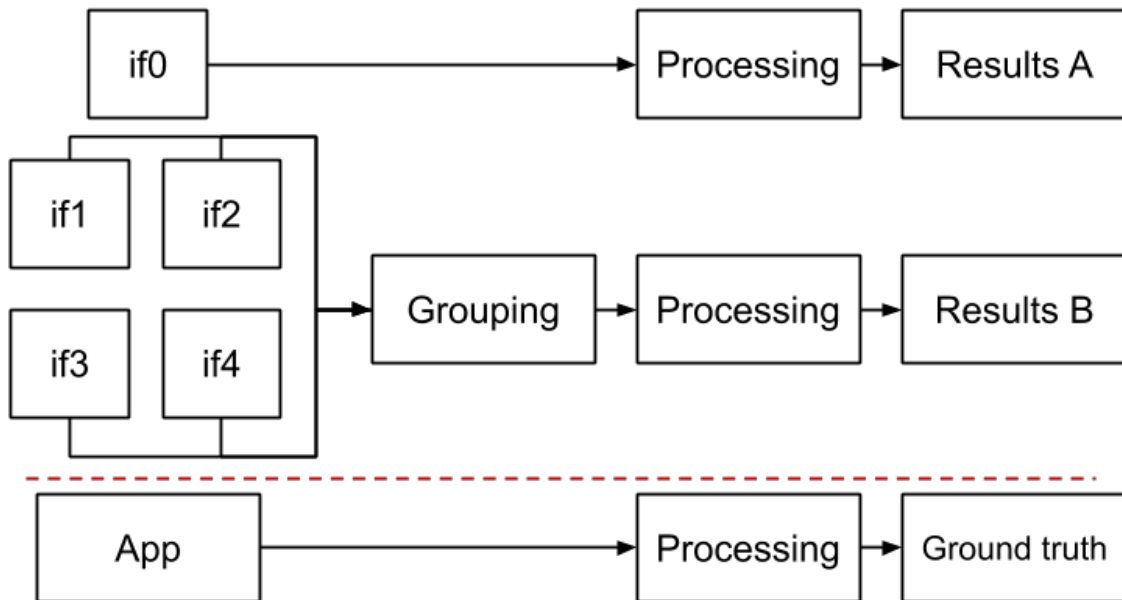


Figura 45. Esquema simplificado das fontes e fluxo de dados do experimento (adaptado de OLIVEIRA et al., 2019)

A Figura 45 mostra como as interfaces de rede foram alocadas para realizar os experimentos discutidos abaixo. Cada interface de rede do Sherlock monitora um canal de transmissão por vez. Após três segundos no mesmo canal, o mecanismo sintoniza a frequência do próximo canal de transmissão. Em todas as experiências relatadas nesta seção, a Interface 0 foi configurada para percorrer os Canais de 1 a 13. Os dados da interface 0 são coletados e processados (Results A) separadamente para fins de comparação. As interfaces 1 a 4 são usadas em paralelo, intercalando o monitoramento dos 13 canais (Results B). A interface 1 monitora os canais 1, 2 e 3; a interface 2 monitora os canais 4, 5 e 6; a interface 3 monitora os canais 7, 8 e 9; e a interface 4 monitora os canais 10, 11, 12 e 13. Os resultados obtidos em A foram comparados com os resultados obtidos em B, conforme a imagem.

Uma questão fundamental que deve ser investigada neste trabalho é a influência que o uso de múltiplas antenas tem sobre a eficácia do mecanismo de detecção de dispositivos. É bem conhecido que um número maior de antenas maximiza o tempo de monitoramento de cada canal, o que leva a detecção de mais *probes*. No entanto,

dependendo da aplicação desejada, o aumento no número de *probes* não leva necessariamente a uma melhoria na eficácia do mecanismo, como será discutido mais adiante.

A Figura 32 exhibe rajadas de *probes* transmitidos por diversas fontes. Em alguns casos, uma determinada fonte enviou 602 *probes* em apenas 1 minuto. Neste e em muitos outros casos, não é necessário detectar todos os *probes*, apenas alguns, ou apenas um *probe* a cada período de avaliação pode ser suficiente. No entanto, em outros casos de dispositivos que enviam menos *probes*, a presença de mais antenas pode determinar se um determinado dispositivo será detectado ou não.

Para responder a essa pergunta, dois resultados foram produzidos para cada experimento: Resultado A, com *probes* coletados apenas pela Interface 0; e Resultado B com *probes* coletados pelas Interfaces 1 a 4. Como os dois resultados foram coletados pelo mesmo dispositivo e durante o mesmo intervalo de tempo, os resultados podem ser comparados com confiança. Finalmente, temos a medida de ground truth, que corresponde à leitura feita através da observação visual de um especialista (o pesquisador) durante o experimento, de acordo com a metodologia descrita na Seção 5.5. Um arquivo de dados foi produzido com o registro do número exato de pessoas (monitoradas manualmente) na sala em qualquer instante do experimento. De acordo com a Figura 45, os dados produzidos pela aplicação móvel possibilitaram a geração de uma medida de *ground truth*, que foi utilizada como referência para comparação com os resultados A e B.

O ambiente monitorado foi uma sala de aula. A monitoração foi feita por 1 hora e 47 min, e o mesmo dispositivo foi usado para capturar *probes* em paralelo em duas configurações. Na primeira configuração, usando apenas a interface 0 e alternando entre os canais de 1 a 13, 42.169 *probes* foram capturados. Na segunda configuração, 82.146 *probes* foram capturados pelas as interfaces de 1 a 4 monitorando conjuntos disjuntos dos 13 canais. A primeira observação é que o uso de múltiplas antenas não levou a um aumento proporcional no número de *probes* capturados.

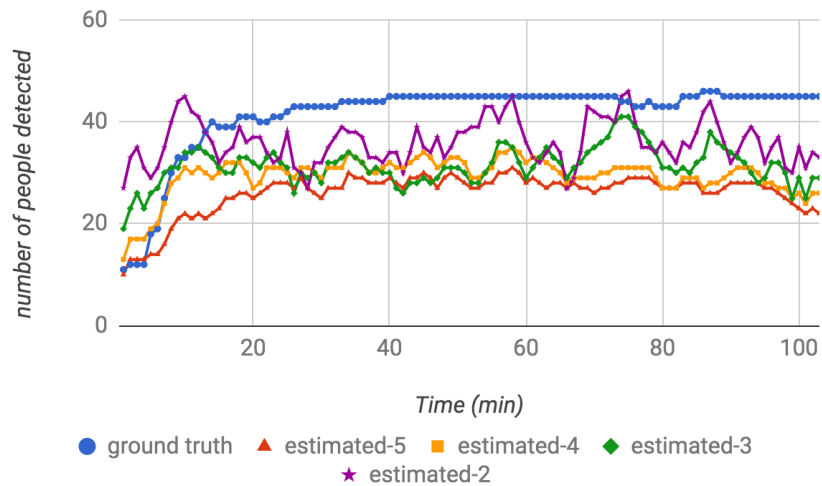


Figura 46. Detecção de pessoas utilizando apenas uma interface de rede (adaptado de OLIVEIRA et al., 2019)

A Figura 46 mostra a comparação entre o resultado de ground truth (usado como referência) e as estimativas feitas pelo mecanismo proposto, com valores diferentes para os parâmetros de *threshold* de chegada e partida. Durante esta análise, o parâmetro do *withdraw threshold* (W_T) teve seu valor definido como 1 (esse parâmetro será o objeto de estudo no próximo experimento). Os parâmetros de *arrival threshold* (A_T) e *departure threshold* (D_T) estão relacionados com o número de slots consecutivos de presença ou ausência de *probes* que devem ser observados para confirmar uma potencial chegada ou potencial partida. As estimativas são nomeadas de acordo com os parâmetros utilizados. Por exemplo, a métrica "estimated-5" é calculada com os parâmetros de chegada e partida definidos como 5; a métrica "estimated-4" é calculada com os parâmetros de chegada e partida definidos como 4 e assim por diante. Na Figura 46, o resultado de *ground truth* é mostrado em azul, a métrica "estimated-5" - calculada com os parâmetros de A_T e D_T definidos em um valor de 5 slots - é mostrada em vermelho, "estimated-4" é em laranja, "estimated-3" em verde e "estimated-2" em roxo.

Como esperado, valores mais baixos para os parâmetros de A_T e D_T levam a estimativas mais instáveis e tendem a ser menos confiáveis. Para valores mais altos desses parâmetros, as estimativas são mais estáveis e seguem a tendência de medição manual com mais fidelidade. Ao observar a medida "estimated-2", com configuração ($A_T = 2$, $D_T = 2$), que possui valores baixos para os *thresholds* de chegada e partida, percebe-se que a medida é muito instável e imprecisa, oscilando entre valores abaixo e acima do *ground truth*. Isso acontece, porque com esses valores de *thresholds*, o mecanismo proposto confirma a chegada ou partida de um dispositivo de maneira precipitada. Por outro lado,

a medida “estimated-5” tem uma configuração mais conservadora ($A_T = 5$, $D_T = 5$) sendo mais estável e mais próxima da linha de *ground truth*. Na maioria das vezes, todas as curvas tinham valores mais baixos quando comparadas com as medições de *ground truth* monitoradas visualmente, o que é esperado, porque alguns dispositivos podem não ter *WiFi* habilitado e algumas pessoas podem nem estar carregando dispositivos sem fio.

A Figura 47 mostra a mesma comparação, mas leva em consideração os *probes* coletados por quatro antenas. As mesmas tendências de estabilidade observadas na Figura 46 para as métricas também podem ser vistas na Figura 47, com a diferença de que as estimativas na configuração de quatro antenas estão mais próximas dos valores *ground truth*.

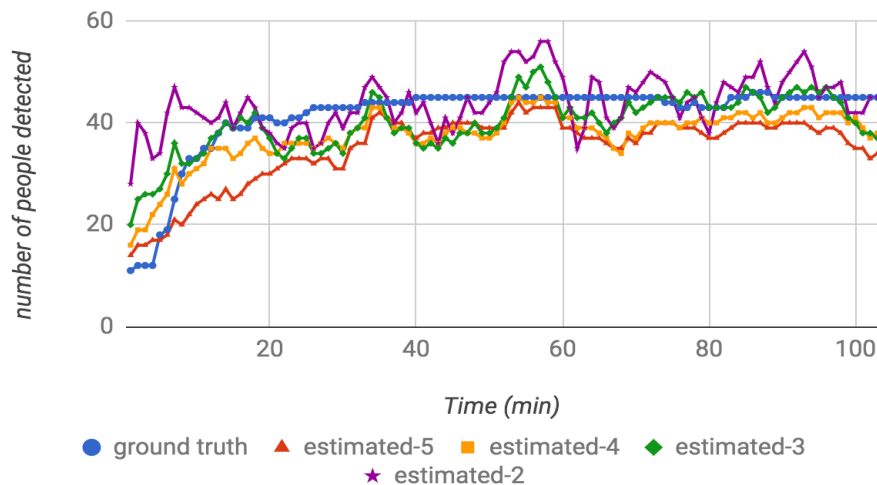


Figura 47. Detecção de pessoas utilizando quatro interfaces de rede (adaptado de OLIVEIRA et al., 2019)

A Figura 48 mostra os coeficientes de correlação de Pearson para as medições de *ground truth* e o valor estimado para cada cenário estudado - com uma ou quatro interfaces e com valores diferentes para os parâmetros de *threshold* de chegada e partida. Pode-se ver que o indicador “estimated-5” alcançou desempenho similar em cenários com uma ou quatro interfaces de rede. Devido ao fato de ser um mecanismo mais conservador, é mais estável e mais resiliente, mesmo em cenários com uma amostra menor de *probes*. O mesmo comportamento não pode ser visto ao usar os outros parâmetros: à medida que os valores dos parâmetros são reduzidos, o mecanismo se torna menos conservador e mais responsivo às variações externas. Isso fez com que a correlação diminuísse e resultou em diferenças entre os cenários de uma e quatro antenas.

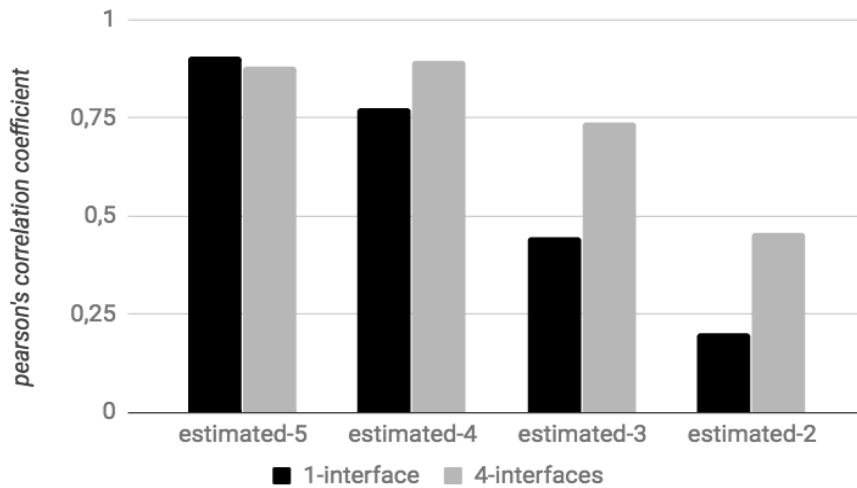


Figura 48. Coeficiente de correlação de Pearson entre o valor estimado e o correspondente *ground truth* (adaptado de OLIVEIRA et al., 2019)

A Figura 49 mostra os erros relativos médios entre o valor de *ground truth* e os valores estimados em cada um dos cenários. Pode ser visto que nesta avaliação, a configuração de uma antena deu um erro muito maior do que a configuração de quatro antenas. Neste caso, podemos ver que o indicador “estimated-4” foi a medida mais precisa considerando a medida de associação (0,896) e o indicador “estimated-3” com o menor erro relativo médio (0,117).

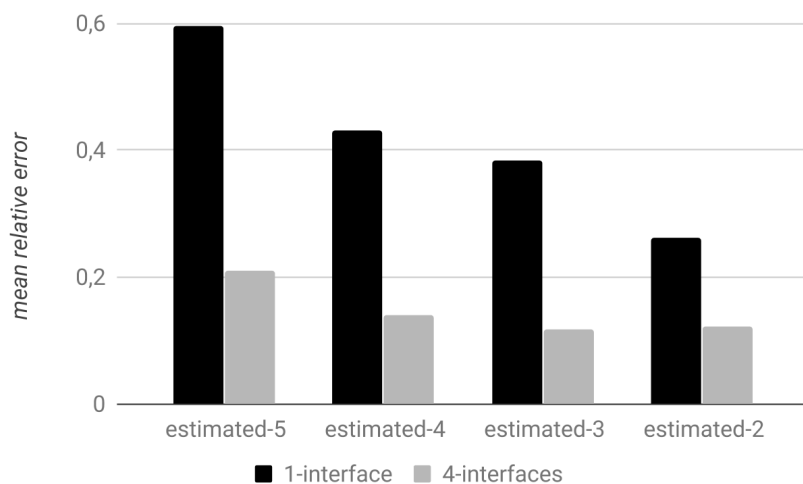


Figura 49. Erro médio relativo entre o valor estimado e o correspondente *ground truth* (adaptado de OLIVEIRA et al., 2019)

Os resultados aqui expostos indicam que o uso de múltiplas interfaces de rede contribui para que as estimativas produzidas pelo Sherlock tenham maior correlação e menor erro médio. Na próxima seção serão discutidos outros aspectos para aperfeiçoar o mecanismo de modo a atingir maior acurácia e precisão.

5.6.3. Investigando a acurácia através da exploração dos parâmetros da máquina de estado

No que diz respeito à metodologia para coleta de dados, os experimentos descritos nesta seção seguiram a mesma metodologia dos experimentos descritos na Seção 5.6.2. Nos experimentos descritos a seguir, o foco estará na exploração dos parâmetros da máquina de estado descrita na Seção 5.3.

Como esperado, a primeira análise permite concluir que o uso de múltiplas interfaces de rede em sondagens pode fornecer melhor correlação e menor erro relativo médio, indicando melhor precisão. Uma análise mais detalhada da influência que os três parâmetros thresholds (A_T , W_T e D_T) podem exercer sobre o mecanismo é necessária, e será feita a seguir. Nesta seção, apresentamos os resultados de uma nova análise feita com os mesmos dados dos experimentos descritos na Seção 5.6.2. Ao contrário da primeira análise, em que o parâmetro do *withdraw threshold* (W_T) foi definido como um, nessa seção exploraremos a possível influência desse parâmetro sobre as estimativas produzidas pelo mecanismo Sherlock.

O parâmetro W_T representa o número de slots consecutivos sem *probes* detectados durante a fase de confirmação de chegada para que a máquina de estado retorne ao estágio inicial (não confirmando a presença). Quando esse parâmetro é definido como um, isso significa que apenas um slot sem *probes* durante a fase de confirmação de chegada é suficiente para o cancelamento do processo de confirmação de uma chegada. Mesmo com essa limitação, o mecanismo pode ser eficiente na detecção da presença de dispositivos com alta taxa de envio de *probes* - dispositivos que não passam mais de 1 minuto sem enviar *probes* durante a fase de confirmação de chegada. Esta situação pode ser vista na Figura 32 com os participantes numerados de 1 a 11, para citar alguns, que tinham um fluxo ininterrupto de *probes* desde o início do intervalo exibido na figura. Esta situação não ocorre para os participantes numerados de 12 a 18, dentre outros - embora presentes, tais dispositivos passam por períodos sem enviar *probes* durante a fase de confirmação da chegada.

A capacidade do algoritmo de reconhecer a presença de um dispositivo, mesmo que ele não envie *probes* por um ou mais slots durante a fase de confirmação de chegada, garante que mais dispositivos sejam detectados pelo mecanismo.

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos variando os parâmetros de thresholds para que as tendências possam ser observadas. Ao olhar para esta tabela, podemos ver que a melhor correlação ocorre quando os parâmetros A_T e D_T têm como valor 5, 6 ou 7. Como observado na seção anterior, valores altos para A_T e D_T fornecem mais estabilidade para a estimativa, evitando flutuações que dificultam a correlação das séries com o ground truth. O ponto de inflexão exato pode ser visto na tabela, na qual o coeficiente de correlação de Pearson tende a aumentar até atingir seu máximo local na configuração ($A_T = 6$, $D_T = 6$, $W_T = 2$).

Tabela 7. Thresholds e resultados

Thresholds			Resultados	
A_T	D_T	W_T	PCC	MRE
4	4	2	0.765	0.111
4	4	3	0.613	0.186
5	5	2	0.868	0.103
5	5	3	0.857	0.189
5	5	4	0,747	0.247
6	6	2	0.869	0.087
6	6	3	0.867	0.180
6	6	4	0.801	0.239
7	7	2	0.811	0.131
7	7	3	0.843	0.140
7	7	4	0.783	0.211

A_T = arrival threshold; D_T = departure threshold; W_T = withdrawal threshold;
PCC = Pearson's correlation coefficient; MRE = mean relative error

Com relação ao parâmetro W_T , pudemos observar que valores altos para este threshold indicam aumentos significativos no erro relativo médio. Isso ocorre porque uma maior tolerância a slots sem sondas durante a fase de confirmação de chegada implica em um número superestimado de dispositivos detectados. Observamos também que as três linhas com $W_T = 2$ (destacadas na Tabela 7) são aquelas com menor erro relativo médio. Confirmando a tendência encontrada com o coeficiente de correlação de Pearson, o ponto

exato de inflexão da tendência descendente do erro relativo médio (isto é, quando atinge seu mínimo local) também ocorre na configuração ($A_T = 6$, $D_T = 6$, $W_T = 2$).

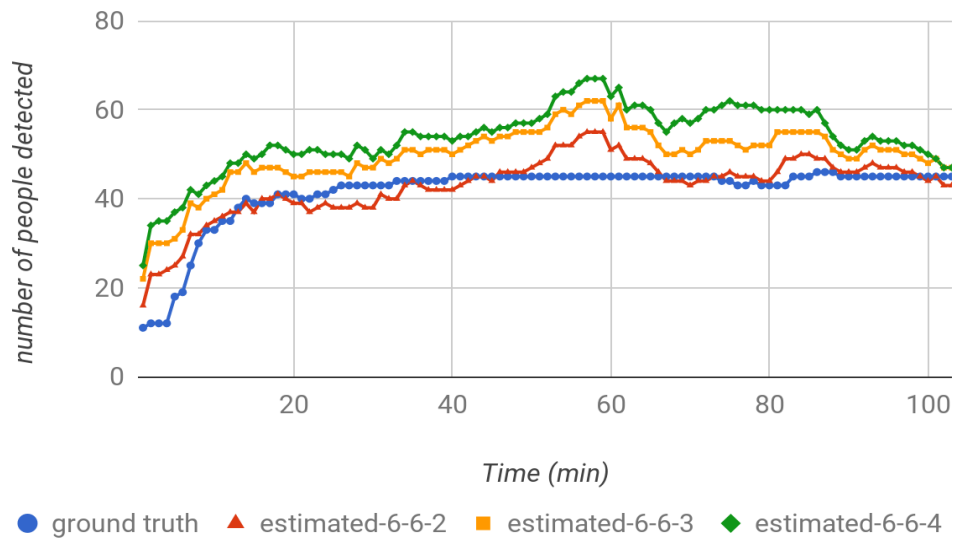


Figura 50. Influência do parâmetro W_T na detecção de pessoas (adaptado de OLIVEIRA et al., 2019)

Quatro curvas são mostradas na Figura 50: a azul indica o ground truth; a vermelha indica a estimativa usando a configuração ($A_T = 6$, $D_T = 6$, $W_T = 2$); a laranja mostra a configuração ($A_T = 6$, $D_T = 6$, $W_T = 3$); e a verde representa a configuração ($A_T = 6$, $D_T = 6$, $W_T = 4$). A alta precisão do mecanismo aqui proposto para estimar o número de dispositivos pode ser vista ao analisar o gráfico, especialmente na configuração ($A_T = 6$, $D_T = 6$, $W_T = 2$). Também podemos ver neste mesmo gráfico a influência que o parâmetro W_T exerce, de modo que a medida que W_T aumenta, os valores estimados tornam-se superestimados em relação às medições de ground truth.

5.7. Conclusão

Nesse capítulo foram apresentadas as pesquisas relativas ao segundo cenário de aplicação para o problema de detecção de presença através de evidências deixadas no meio sem fio. Uma solução que compreende hardware e software foi apresentada. O software foi implementado baseado em uma máquina de estado que foi desenvolvida no escopo dessa pesquisa. Nesse capítulo foi descrita também a versão atual do protótipo de hardware desenvolvido para realização dos experimentos. Maiores informações sobre as versões anteriores do hardware podem ser vistas no Apêndice B. Por fim, foram

apresentados os experimentos e resultados que validam o mecanismo proposto nessa tese. No próximo capítulo será apresentada uma comparação entre os resultados obtidos nessa tese e resultados obtidos por outros pesquisadores.

Capítulo 6 – Conclusão

6.1. Epílogo

Este trabalho de tese busca resolver o problema da detecção automática da presença de pessoas em dois cenários de aplicação: o primeiro deles é dedicado a monitoração do tempo de espera enfrentado por pessoas para o atendimento a serviços; e o segundo deles diz respeito a detecção de presença de pessoas aplicada a gestão de uso de espaços.

No que diz respeito ao primeiro cenário de aplicação, esse trabalho apresenta uma estratégia para alavancar a cooperação da multidão para monitorar o tempo de espera na prestação de serviços públicos e privados. A solução consiste em um ambiente no qual os usuários podem informar o tempo gasto na espera do fornecimento de um serviço específico. A espera pode ser informada manualmente, ou detectada de forma automática através de um sensor de esperas desenvolvido dentro do escopo desta pesquisa. O mecanismo de detecção automática de esperas desenvolvido nessa tese mostrou-se muito preciso na detecção do início e do fim da espera, sendo capaz inclusive de diferenciar o momento de espera do momento de provisão do serviço em alguns cenários.

No que diz respeito à segunda área de aplicação, os experimentos realizados neste estudo tiveram como objetivo avaliar a eficácia de um mecanismo para geração de estimativa da quantidade de pessoas presentes em uma dada localidade através de evidências deixadas por dispositivos no meio de transmissão sem fio. Para realizar essa verificação, o número real de pessoas presentes em um ambiente (medido por um especialista) e o número estimado de pessoas (produzido pelo mecanismo) foram comparados. Os experimentos demonstraram uma forte correlação entre o número real e o número estimado de pessoas.

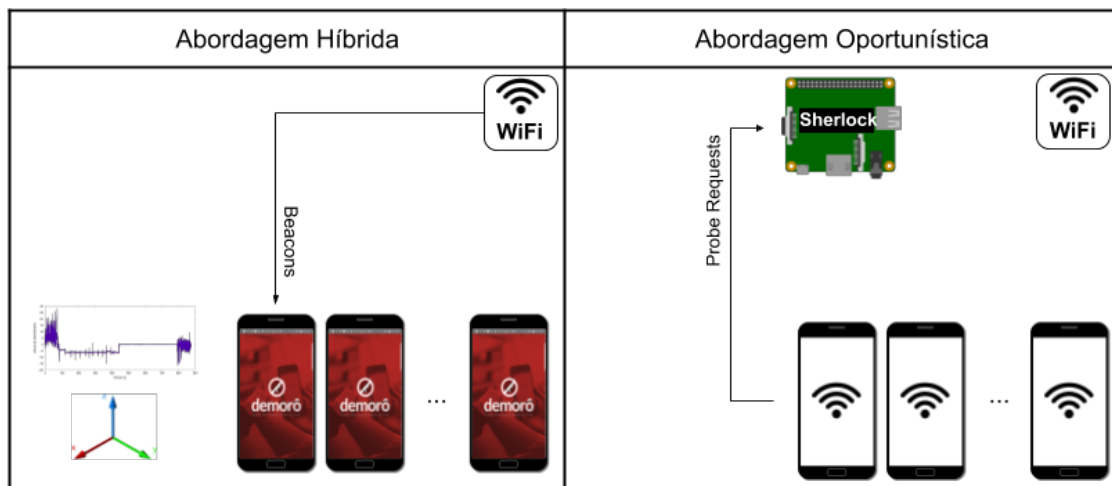


Figura 51. Comparação final entre as abordagens híbrida e oportunística (elaborada pelo próprio autor)

A Figura 51 exibe a percepção do autor sobre as principais diferenças entre as duas abordagens adotadas nessa pesquisa. Na parte esquerda da imagem, a abordagem híbrida (MCS) consiste em implantar um aplicativo que seja executado no dispositivo dos próprios usuários interessados na solução de sensoriamento. Essa abordagem possui a vantagem de não exigir uma infraestrutura proporcionada por terceiros. Além desta, pode ser considerada também uma vantagem e relação do usuário com o aparelho celular, que permite o acesso a conjunto bastante rico de informações. Através de sensores presentes nos aparelhos celulares, é possível ter acesso a informações que refletem o comportamento e a visão que o usuário tem do meio exterior. Por exemplo, é possível saber o padrão de comportamento e movimentação do usuário, identificação, localização, inclinação, seus hábitos diários, informações de redes sem fio ao redor, informações de contatos, calendário, imagens, dados de redes sociais, dentre outras possibilidades. Uma particularidade dessa abordagem é a necessidade de convencimento do usuário à instalação do aplicativo, em nosso caso o Demorô, e também a dependência de que esse usuário mantenha-se engajado na atividade de sensoriamento. Algumas questões sobre engajamento serão apresentadas na Seção 6.5 de Trabalhos Futuros.

A segunda abordagem, ilustrada no lado direito da Figura 51, consiste na adoção de uma estratégia puramente oportunística baseada no conceito de Internet das Coisas. Nessa abordagem, não é necessário que o usuário instale um aplicativo, ou que tenha qualquer tipo de engajamento ou mesmo conhecimento a respeito da atividade de sensoriamento. Uma vez que o dispositivo Sherlock tenha sido implantado em uma determinada localidade, a atividade de sensoriamento pode ser realizada sem a

necessidade de instalação de qualquer aplicativo nos aparelhos celulares dos envolvidos. Uma desvantagem dessa abordagem é um conjunto mais restrito de informações que podem ser obtidas do dispositivo monitorado. Dentre as informações que podem ser acessadas, destaco as evidências deixadas no meio sem fio, que no caso das evidências *WiFi* são: endereço físico da interface de rede, nível de intensidade de sinal, SSID de redes que o usuário já se conectou, informações sobre a marca/modelo do aparelho, dentre outras informações.

Como pode ser observado, as duas abordagens possuem características próprias, que podem ser consideradas vantagens ou desvantagens dependendo do cenário de aplicação. A depender do cenário proposto, caberá ao pesquisador escolher qual abordagem é mais adequada de acordo com as características técnicas e sociais. Uma abordagem MCS tende a ter um grande potencial quando se tem maneiras de divulgar a aplicação proposta e manter um nível elevado de engajamento de seus usuários. Por outro lado, uma abordagem IoT pode ser interessante, quando a capacidade de se engajar usuários é considerada um problema, porém é possível implantar uma estrutura física no ambiente monitorado.

A seguir serão sintetizados os objetivos alcançados em cada um dos capítulos dessa tese. O estudo apresentado no Capítulo 2 identificou um panorama de abordagens para proposição de iniciativas de sensoriamento que exploram a inteligência coletiva e o potencial de cooperação da multidão. Um breve histórico de evolução da Internet foi traçado evidenciando mudanças profundas na forma em que as pessoas se comunicam e que acessam serviços. Essas mudanças foram influenciadas e também influenciaram o surgimento de novos métodos e tecnologias que empoderam a multidão na realização de tarefas. No mundo atual, o conteúdo é produzido de forma descentralizada, independente e dinâmica. Esse novo cenário influenciou também a forma como atividades de sensoriamento são realizadas. O empoderamento das pessoas, aliado a redução dos custos dos equipamentos e de conectividade, fizeram com que novas abordagens de sensoriamento emergissem. Na Seção 2.3 foi proposta uma classificação multicamadas que posiciona iniciativas de MCS e IoT em diferentes patamares de nível de engajamento requerido dos participantes na atividade de sensoriamento. Na Seção 2.5 propusemos uma taxonomia que expõe as interações entre diferentes abordagens de sensoriamento, a saber: IoT, WSNs, MCS, Sensoriamento Participativo, Social Sensing e Sensoriamento Oportunístico. Diversas iniciativas de sensoriamento foram classificadas de acordo com essa taxonomia para exemplificação de sua abrangência.

No Capítulo 3 foi apresentado um levantamento do estado da arte das soluções de monitoração do tempo de espera e da estimativa da quantidade de pessoas, ambas com a utilização de evidências deixadas no meio sem fio. A revisão de literatura de monitoração do tempo de espera foi abordada na Seção 3.1, onde foi conduzida uma revisão de literatura *ad hoc* em busca de iniciativas MCS para monitoração do tempo de espera em atendimentos. Como fruto dessa pesquisa, outras dez iniciativas foram estudadas que abordam o mesmo problema endereçado nessa tese, porém com abordagens que diferem em maior ou menor grau da adotada nesta pesquisa. Destaca-se que a maior parte desses trabalhos surgiu após a proposição do Demorô. A revisão de literatura evidencia que esse é um tema de pesquisa atual e florescente, sendo abordado por diferentes grupos de pesquisa. Pesquisadores estão utilizando diversos tipos de evidências para detectar eventos de espera, como evidências acústicas, de sinais *WiFi*, Bluetooth, dentre outros.

Um problema observado é a dificuldade de realização de testes comparativos, pois quase a totalidade das propostas estudadas não está disponível para download ou avaliação. Mesmo os experimentos relatados nos artigos foram feitos em circunstâncias muito específicas, que limitam o uso da abordagem em cenários muito restritos. Até o momento de escrita dessa tese, apenas o Demorô e o Google Places Popular Times estão disponíveis para serem testados por qualquer interessado. Com exceção do Demorô e da proposta do Google, nenhuma das abordagens endereçou aspectos necessários para se obter engajamento de seus usuários. Das soluções disponíveis para uso, o Demorô é o único capaz de diferenciar o tempo de espera do tempo total de permanência do usuário no estabelecimento onde o serviço é consumido.

Esse é um campo de pesquisa que tem muito trabalho ainda a ser realizado, conforme lista de características desejáveis de uma aplicação para monitoração do tempo de espera, descrito no Apêndice C.

A revisão da literatura das iniciativas para a estimativa da quantidade de pessoas foi abordada na Seção 3.3, onde foram expostos diversos cenários em que o uso de técnicas e dispositivos de IoT foram aplicados à detecção de presença. Dentro desse estudo foi proposta uma taxonomia onde as iniciativas estudadas foram classificadas de acordo com o tipo de evidência do meio sem fio utilizada. Foram estudadas abordagens que se utilizam de evidências acústicas, GSM, *WiFi*, Bluetooth e Infravermelho. Essas abordagens atacam diversos subproblemas derivados da detecção de presença, como a localização indoor, estimativa da quantidade de pessoas, desanonimização de multidões, identificação de interações sociais, dentre outros. Alguns trabalhos abordam questões

genéricas, como aspectos comportamentais dos aparelhos celulares, utilização de MACs aleatórios, aspectos de privacidade dentre outras pesquisas que são relevantes em diversos cenários. Um questão que ainda não foi totalmente resolvida é o tratamento de evidências *WiFi* geradas por dispositivos que se utilizam de técnicas de randomização de endereço MAC para proteção da privacidade. A abordagem proposta por este autor obteve sucesso na contabilização estimada da quantidade de pessoas mesmo em cenários com dispositivos que aplicam técnicas de randomização de endereço MAC. Tal abordagem será objeto de comparação com outras duas abordagens encontradas na literatura.

6.2.Revisitando as questões de pesquisa

QP1: Como detectar automaticamente um evento de espera sofrido por um usuário, possuindo acesso ao dispositivo utilizado pelo mesmo?

No Capítulo 3, é descrito o mecanismo proposto nessa tese para detecção automática de eventos de espera sofridos por usuários. Esse mecanismo é capaz de verificar o tempo de permanência de um usuário em um determinado estabelecimento, e cruzar essa informação com uma base de dados própria a respeito de locais que usuários já informaram esperas anteriormente. Além disso, o sistema é capaz ainda de diferenciar o tempo gasto durante a espera do tempo utilizado para consumir o serviço em questão. Esse tipo de distinção é possível em uma ampla gama de cenários através de dados colhidos do acelerômetro de aparelhos celulares. Por exemplo, em um restaurante, onde o usuário espera em pé em uma fila, é possível distinguir o tempo de espera do tempo em que o usuário usufruiu de sua refeição através de leituras feitas do acelerômetro do celular. A fusão de dados colhidos do sensor de *WiFi* e do acelerômetro, aplicados à detecção automática de eventos de espera foi objeto de experimentos. O mecanismo aqui proposto demonstrou-se capaz de detectar eventos de espera com elevada acurácia.

QP2: Como detectar a presença de pessoas em localidades de forma totalmente transparente sem qualquer necessidade de intervenção humana?

No Capítulo 5 são descritos um método e um hardware para detecção de presença através de evidências deixadas no meio sem fio. O método em questão consiste em uma máquina de estado que é alimentada por evidências específicas capturadas no meio sem fio. O mecanismo em questão é capaz de detectar de forma apurada o momento de

chegada e de saída de pessoas de uma determinada localidade. Dessa forma, ele é capaz de estimar a quantidade de pessoas presentes em algum local específico.

Além dessa metodologia foi desenvolvido um hardware com múltiplas antenas capaz de capturar as evidências no meio sem fio. Foram realizados experimentos para avaliar a efetividade do hardware, a responsividade na detecção da chegada e a precisão da estimativa da quantidade de pessoas. Foram avaliados cenários com a variação do número de antenas e com diferentes parâmetros submetidos à máquina de estado modelada. Os experimentos indicaram uma elevada correlação entre a estimativa da quantidade de pessoas e o valor real medido manualmente. O mecanismo proposto por este autor, de estimativa da quantidade de pessoas, obteve erro relativo médio muito inferior aos obtidos por outras propostas estudadas. Essa comparação será apresentada na Seção 6.3.

6.3. Contribuições e originalidade

Uma das contribuições deste trabalho é um conjunto de requisitos validados Apêndice C, resultado de um processo de projeto participativo de elucidação de requisitos e confirmado por uma pesquisa envolvendo mais de oitenta pessoas. Os relatos colhidos nas entrevistas foram frutíferos e permitiram uma compreensão muito mais profunda das questões envolvidas, o que facilitou o design de soluções que aderissem às expectativas desses usuários. O resultado de validação desses requisitos foi gratificante pois 96% dos requisitos levantados foram avaliados como "necessários", "muito importantes" ou "essenciais" de acordo com a opinião dos entrevistados.

O processo de pesquisa também levou em consideração a revisão da literatura da área, e requisitos também foram extraídos de outros trabalhos dedicados a resolver o mesmo tipo de problema. O conjunto de requisitos levantados pode orientar o trabalho realizado por outros pesquisadores e ajudar a produzir uma análise comparativa entre soluções similares. Finalmente, a revisão da literatura também nos permitiu identificar os principais grupos de pesquisa sobre o assunto, abrindo portas para que esses grupos realizassem mais cooperação uns com os outros.

Um importante requisito implementado e validado foi a detecção automática de esperas. O mecanismo proposto nesta tese mostrou-se capaz de detectar o início e o fim da espera, o tempo de provisão do serviço e o momento em que o usuário se retira do estabelecimento.

Uma implementação dos requisitos levantados nesta tese está sendo produzida e está em estágio avançado de desenvolvimento, como mostrado na Figura 14 e no Apêndice A. Nesta fase, cerca de 61% dos requisitos foram implementados de forma satisfatória. Uma versão bilíngue (inglês e português) já está disponível para download gratuito no Google Play e App Store desde novembro de 2015. Para fazer o download, basta procurar "Demorô" nas lojas de aplicativos oficiais dos sistemas operacionais móveis Android e iOS. Até o momento de escrita dessa tese não existe nenhum outro aplicativo publicado nessas lojas destinado a resolver o mesmo tipo de problema.

O método aqui proposto para estimar o número de pessoas através da análise de *WiFi probe requests* obteve uma correlação muito forte com o número real de pessoas no ambiente, com um coeficiente de correlação de Pearson de 0,896. Além da alta correlação, o mecanismo ainda foi capaz de atingir um erro relativo médio baixo de 0,087 – garantindo acurácia significativa para o indicador.

Os resultados obtidos nesta pesquisa também podem ser comparados com diferentes abordagens desenvolvidas por outros grupos de pesquisa que estimam o número de pessoas em um ambiente através de evidências coletadas do meio sem fio. A Tabela III resume os valores médios do erro relativo obtidos por algumas abordagens. Os resultados indicam que o método baseado na modelagem de uma máquina de estado, denominado Sherlock, proposto nesta tese, mostrou-se mais preciso que o método baseado em regressão linear (LR) e o método baseado na regressão por vetores de suporte (SVR), ambos propostos em (YOSHIDA; TANIGUCHI, 2015). Os erros relativos médios obtidos pelo métodos baseado em LR e pelo método baseado em SVR, foram respectivamente, 340% e 243% superiores aos encontrados pelo mecanismo de Sherlock.

Tabela 8. Comparação com outras propostas relacionadas

Proposta	Erro relativo médio
Sherlock	0.087
SVR-based method	0.298
LR-based method	0.383

A Tabela 9 complementa as contribuições mencionadas acima, listando as publicações que foram aceitas ou submetidas durante o período de produção desta tese, e que estão relacionadas direta ou indiretamente a esta pesquisa.

Tabela 9. Publicações realizadas durante a pesquisa do doutorado

#	Título	Tipo	Fórum
1	Leveraging the crowd collaboration to monitor the waiting time of day-to-day services	C	Publicado no CSCWD 2015
2	Designing for monitoring the waiting time of day-to-day services	C	Publicado no CSCWD 2016
3	Towards an observatory for mobile participatory sensing applications	C	Publicado no CSCWD 2017
4	Towards a Framework for Supporting Community Modeling in Crowdsourcing Systems	C	Publicado no CSCWD 2017
5	Designing, building and evaluating a social news curation environment using the action design research methodology	P	Publicado no Cluster Computing 2017
6	Crowd sensing to monitor the waiting time of day- to-day services	P	Publicado no IJCSTA 2017
7	Automatic detection of waiting times using smartphones	C	Publicado no SMC 2017
8	Sherlock: Capturing <i>Probe Requests</i> for Automatic Presence Detection	C	Publicado no CSCWD 2018
9	Evaluation of a Collaborative Curation Platform from the Perspective of Selective Exposure	C	Publicado no SMC 2018
10	Evaluation of a GWAP for Social Recruitment and Measurement of Musical Talent	C	Publicado no CSCWD 2019
11	Exploring Social Validation on A Collaborative Curation Platform	C	Publicado no CSCWD 2019
12	Designing a Collaboration Platform for Electricity Consumer Councils	C	Publicado no CSCWD 2019
13	Estimation of People Presence through <i>WiFi Probe Requests</i> Analysis	C	Aceito para o CASE 2019
14	Mobile Device Detection through <i>WiFi Probe Request</i> Analysis	P	Publicado no IEEE Access 2019

Tipo de publicação: C (Conferência) e P (Periódico)

6.4.Limitações

A pesquisa realizada no escopo do primeiro cenário de aplicação, monitoração do tempo de espera, permitiu a geração do protótipo de um aplicativo baseado em uma lista

de requisitos construída e validada através de relatos colhidos de diversos colaboradores. O mecanismo de detecção automática de espera foi objeto de experimentos com promissores resultados. Porém, o mecanismo como um todo carece ainda de experimentos mais abrangentes para validação da proposta. Uma limitação desse trabalho foi a realização de experimentos apenas com pequenos grupos. Outros experimentos com grandes grupos de usuários precisam ser realizados de modo a verificar a viabilidade do aplicativo para monitoração de tempo de espera em cenários reais. Uma dificuldade intrínseca de iniciativas de MCS é a dificuldade de engajar usuários, especialmente nos momentos iniciais, o que é conhecido como o problema da partida a frio. Para que o mecanismo seja capaz de produzir indicadores confiáveis sobre o tempo de espera é necessária a participação ativa de usuários. No entanto, esses mesmos usuários já esperam ter acesso a esses indicadores desde o primeiro acesso, deixando de se engajar quando não encontram a informação desejada. Romper essa barreira inicial acaba sendo um grande desafio para aplicações de MCS.

No que diz respeito a segunda área de aplicação, os experimentos realizados neste estudo tiveram como objetivo avaliar a eficácia de um mecanismo capaz de gerar uma estimativa da quantidade de pessoas através de evidências deixadas por dispositivos no meio de transmissão sem fio. Para realizar essa verificação, o número real de pessoas presentes em um ambiente (medido por um especialista) e o número estimado de pessoas computadas pelo mecanismo foram comparados. Nosso objetivo foi produzir uma estimativa o mais próxima possível do *ground truth*, considerando que a estimativa nunca pode ser totalmente precisa devido às seguintes razões:

- 1) algumas pessoas podem não portar dispositivos com uma interface *WiFi*;
- 2) alguns dispositivos podem não ter suas interfaces *WiFi* ativadas;
- 3) algumas pessoas podem ter mais de um dispositivo;
- 4) dispositivos localizados em salas próximas podem ser detectados;
- 5) o tempo de permanência na sala pode ser insuficiente para a detecção de um dispositivo; e
- 6) algumas transmissões podem não ser detectadas, pois o dispositivo de monitoramento se reveza entre diferentes canais de transmissão.

No próxima seção serão abordadas as possibilidades de expansão das pesquisas feitas no escopo desta tese.

6.5.Trabalhos futuros

Esse trabalho de tese obteve avanço significativo na exploração de um vasto potencial de tecnologias para a detecção de presença através de evidências deixadas no meio sem fio. Do ponto de vista do autor desta tese, existem ainda muitos pontos de extensão que podem ser objeto de pesquisas futuras.

A. Engajamento e a qualidade da participação dos usuários no Demorô

No que diz respeito a monitoração dos tempos de espera, uma questão que merece maior investigação é a avaliação de quando uma notificação de tempo de espera pode ser legítima ou quando não representa um evento real. O sistema deve ser capaz de detectar essas contribuições indesejáveis dos usuários. Uma possível solução é estabelecer um índice para ponderar as contribuições feitas pelos usuários, de acordo com seu nível de confiabilidade e relevância - de modo que o cálculo do tempo de espera médio seja o mais preciso possível.

Algumas outras questões também são importantes para o sucesso desta abordagem, por exemplo: como lidar com os casos em que o sistema não possui um número suficiente de amostras recentes para calcular com precisão o tempo médio de espera em uma determinada fila? Como incrementar as estratégias de gamificação para atrair e reter os usuários na plataforma? Como lidar com usuários que não contribuem, usando o sistema apenas para consultas? Como extrair informações úteis da participação de usuários que apenas fazem consultas ao sistema? Como incorporar técnicas de *piggyback*?

B. Detecção de padrões e predição do tempo de espera em serviços com o Demorô

Outra questão a ser abordada é a previsão da demanda de serviços para inferir os futuros tempos de espera. Uma abordagem que parece promissora é a análise de séries temporais de relatos de espera para identificar os padrões de comportamento dos usuários. A ideia é que se possa associar a demanda por um serviço específico de acordo com os dias da semana, horários e estações. Em muitos serviços do dia-a-dia, podemos observar padrões recorrentes de acordo com feriados, temporadas de férias ou fins de semana.

Ao conhecer os serviços mais utilizados, e ao adquirir a capacidade de prever o tempo de espera, os usuários serão informados antecipadamente sobre o tempo de espera

e estarão melhor equipados para planejar seus horários diários, podendo reorganizar os compromissos quando necessário. Também é possível que alguns usuários modifiquem seus hábitos, evitando os horários de pico, proporcionando maior equilíbrio na demanda por um serviço, resultando em menor tempo de espera, o que beneficia todos os usuários.

Nesse estudo foi desenvolvido um mecanismo capaz de detectar a partir de leituras do acelerômetro o momento em que o usuário adota um padrão de movimentação compatível com o de uma fila. Esse padrão é detectado quando o mecanismo observa uma transição entre estados de repouso e curtas caminhadas. Esse comportamento pode ser diferente de acordo com características da fila, como por exemplo, a variação do tempo necessário para avançar uma posição na fila, a movimentação do usuário nos momentos de repouso, dentre outras características. Técnicas de aprendizado de máquina poderiam ser aplicadas para treinar uma rede neural, de modo que ela seja capaz de detectar eventos reais de espera, mesmo que o usuário adote padrões de comportamento ligeiramente diferentes do esperado.

C. Utilizando o Sherlock em meios de transporte coletivo

No que tange à monitoração estimada da quantidade de pessoas, acreditamos que o mecanismo Sherlock pode ser utilizado também em outros cenários, com as devidas adaptações. Experimentos estão sendo realizados para que uma versão modificada do Sherlock seja utilizada para estimar a quantidade de passageiros em ônibus, como ilustrado na Figura 52.

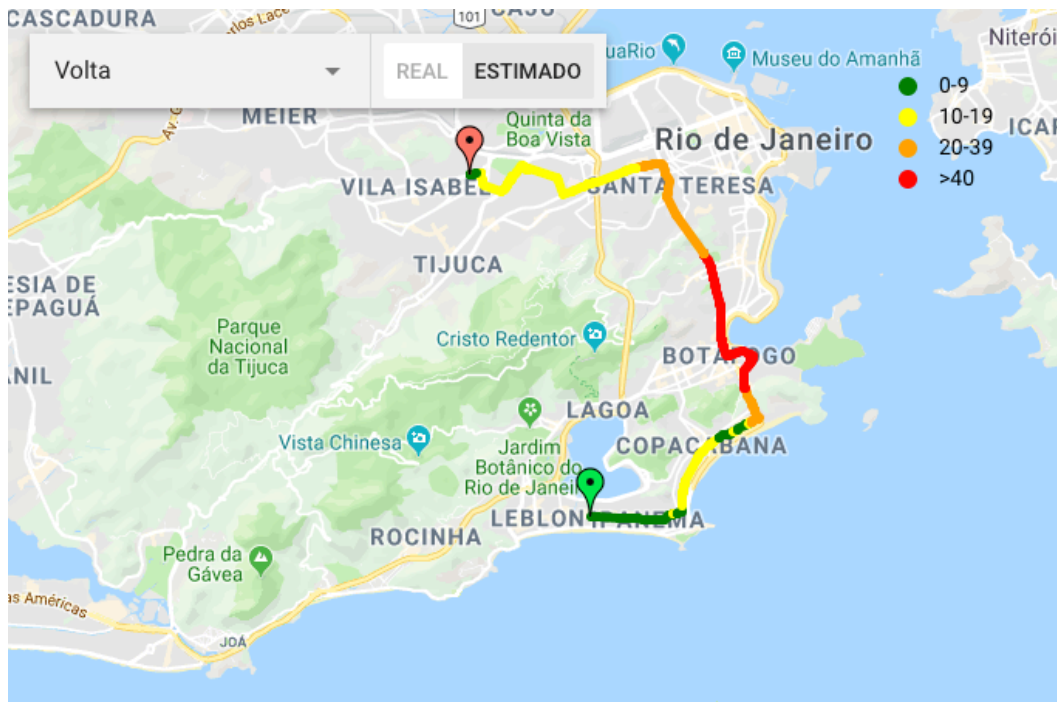


Figura 52. Versão preliminar da monitoração da quantidade de passageiros em ônibus (elaborada pelo próprio autor)

A detecção de presença de pessoas e dispositivos através de evidências deixadas no meio sem fio quando feita a bordo de um veículo em movimento possui características próprias que precisam ser levadas em consideração. Durante o percurso, o mecanismo Sherlock detecta uma quantidade muito elevada de *probes*, transmitidos por dispositivos portados por pedestres ou por ocupantes de outros veículos. O nível de congestionamento, que faz com que o ônibus fique mais tempo parado, pode também influenciar na forma com que os *probes* são detectados. Uma tarefa importante é conseguir separar os *probes* emitidos pelos dispositivos dos passageiros daqueles emitidos por dispositivos de pedestres e passageiros de outros veículos. Uma possível direção a ser seguida é o uso da velocidade do ônibus e da intensidade de sinal recebido dos *probes* para fazer essa distinção.

Um mecanismo escalável capaz de detectar aproximadamente os embarques e desembarques em ônibus poderia ser uma importante ferramenta para se conhecer as matrizes de origem e destino de transporte em grandes cidades, auxiliando em tarefas de planejamento de transportes.

D. Utilização de outros tipos de evidências deixadas no meio sem fio

Outra forma de expandir a pesquisa dessa tese é investigar o uso de outros sensores capazes de detectar evidências deixadas no meio sem fio. O uso de outras evidências pode substituir, ou pode ser somado às evidências *WiFi*, já exploradas nesse estudo. No caso de uma abordagem cumulativa, a fusão dos dados já coletados com evidências de sinais GSM e Bluetooth geradas por aparelhos celulares poderia potencializar os resultados. Outro ponto de expansão é o uso de abordagens ativas, que consiste em enviar mensagens no meio sem fio de forma que dispositivos monitorados respondam com novas evidências no meio.

E. Detecção de padrões e predição de uso de espaços com o Sherlock

Uma possível direção de evolução do dispositivo é a detecção de padrões de comportamento do uso de espaços. Acreditamos que uma das respostas para este problema pode estar no uso de técnicas de aprendizado de máquina. O mecanismo proposto neste trabalho pode monitorar locais por longos períodos e os dados coletados podem ser usados para detectar padrões de uso dos espaços monitorados. Uma dimensão que ainda não foi bem estudada é a que se refere às questões de privacidade, um estudo mais detalhado desse tema precisa ser realizado para verificar possíveis restrições de uso e guarda de dados pelo mecanismo proposto.

Referências Bibliográficas

ABRAMSON, N. **THE ALOHA SYSTEM: Another Alternative for Computer Communications**. Proceedings of the November 17-19, 1970, Fall Joint Computer Conference. **Anais...: AFIPS '70 (Fall)**. New York, NY, USA: ACM, 1970. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1478462.1478502>>

ALHAMOUD, A. et al. **Presence detection, identification and tracking in smart homes utilizing bluetooth enabled smartphones**. 39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops. **Anais...** In: 39TH ANNUAL IEEE CONFERENCE ON LOCAL COMPUTER NETWORKS WORKSHOPS. set. 2014

ALLIANCE, Z. **Zigbee specification version 1.0**. [s.l.] April, 2005.

ANTUNES, B. F. **OTT RJ: da geografia da criminalidade à contenção territorial**. . In: 41º CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO. Joinville - SC: 2018

AUBERT, D. **Passengers queue length measurement**. International Conference on Image Analysis and Processing, 1999. Proceedings. **Anais...** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE ANALYSIS AND PROCESSING, 1999. PROCEEDINGS. 1999

BAGER, A. et al. OS CAMINHOS DA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA FRENTE AOS IMPACTOS DA INFRAESTRUTURA VIÁRIA. **Biodiversidade Brasileira**, v. 0, n. 1, p. 75-86-86, 7 mar. 2016.

BAGNO, S. M. **Method and apparatus for detecting motion in a confined space**, 13 out. 1953. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US2655645A/en>>

BALLESTEROS, J. et al. Towards Safe Cities: A Mobile and Social Networking Approach. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems**, v. 25, n. 9, p. 2451-2462, set. 2014.

BAUER, D.; RAY, M.; SEER, S. Simple Sensors Used for Measuring Service Times and Counting Pedestrians. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2214, p. 77-84, 25 ago. 2011.

BEJARANO, O.; KNIGHTLY, E. W.; PARK, M. IEEE 802.11ac: from channelization to multi-user MIMO. **IEEE Communications Magazine**, v. 51, n. 10, p.

84–90, out. 2013.

BHAGWAT, P. Bluetooth: technology for short-range wireless apps. **IEEE Internet Computing**, v. 5, n. 3, p. 96–103, maio 2001.

BRAAKSMA, J. P. Time-stamping: a new way to survey pedestrian traffic in airport terminals. **Transportation research record**, v. 588, p. 27–34, 1976.

BRABHAM, D. C. Crowdsourcing as a Model for Problem Solving: An introduction and cases. **Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies**, v. 14, n. 1, p. 75–90, 2008.

BULLOCK, D. et al. Automated Measurement of Wait Times at Airport Security. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2177, p. 60–68, 1 dez. 2010.

BULUT, M. F. et al. LineKing: Crowdsourced Line Wait-Time Estimation Using Smartphones. In: UHLER, D.; MEHTA, K.; WONG, J. L. (Eds.). . **Mobile Computing, Applications, and Services**. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 205–224.

BULUT, M. F.; DEMIRBAS, M. Coffee Shop Line Length Monitoring Using Smartphones. **Poster in The 15th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications**, 2014.

BURKE, J. A. et al. Participatory sensing. **Center for Embedded Network Sensing**, 5 maio 2006.

CHEEKIRALLA, S.; ENGELS, D. W. **A functional taxonomy of wireless sensor network devices**. 2nd International Conference on Broadband Networks, 2005. **Anais...** In: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON BROADBAND NETWORKS, 2005. out. 2005

COOK, G. **How crowdsourcing is changing science****The Boston Globe**, 11 nov. 2011. Disponível em: <<http://www.bostonglobe.com/ideas/2011/11/11/how-crowdsourcing-changing-science/dWL4DGWMq2YonHKC8uOXZN/story.html>>. Acesso em: 17 ago. 2012

CUNCHE, M.; KAAFAR, M. A.; BORELI, R. **I know who you will meet this evening! Linking wireless devices using Wi-Fi probe requests**. 2012 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM). **Anais...** In: 2012 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON A WORLD OF WIRELESS, MOBILE AND MULTIMEDIA NETWORKS (WOWMOM).

jun. 2012

CUNCHE, M.; KAAFAR, M.-A.; BORELI, R. Linking wireless devices using information contained in Wi-Fi probe requests. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 11, p. 56–69, abr. 2014.

DENNY, M. Watt steam governor stability. **European Journal of Physics**, v. 23, n. 3, p. 339–351, maio 2002.

DONG, Y. F. et al. **Automatic collection of fuel prices from a network of mobile cameras**. International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems. **Anais...**Springer, 2008

DONG, Y. F. et al. **PetrolWatch: Using Mobile Phones for Sharing Petrol Prices**. [s.l.: s.n.].

ERIKSSON, J. et al. **The Pothole Patrol: Using a Mobile Sensor Network for Road Surface Monitoring**. Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. **Anais...**: MobiSys '08. New York, NY, USA: ACM, 2008Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1378600.1378605>>. Acesso em: 6 jan. 2016

ESTEVES, M. G. P. **Fast Science—Uma abordagem para a concepção e execução de projetos científicos com a participação de multidões**. PhD Thesis—[s.l.] PESC/COPPE/UFRJ, 2016.

Finite-state machine. , 28 jun. 2019. (Nota técnica).

FREUDIGER, J. **How Talkative is Your Mobile Device?: An Experimental Study of Wi-Fi Probe Requests**. Proceedings of the 8th ACM Conference on Security & Privacy in Wireless and Mobile Networks. **Anais...**: WiSec '15. New York, NY, USA: ACM, 2015Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2766498.2766517>>

GAST, M. **802.11 wireless networks: the definitive guide**. [s.l.] O'Reilly Media, Inc., 2005.

GILL, A. Introduction to the theory of finite-state machines. 1962.

GONCALVES, J. et al. **Crowdsourcing Queue Estimations in Situ**. Proceedings of the 19th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work & Social Computing. **Anais...**: CSCW '16. New York, NY, USA: ACM, 2016Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2818048.2819997>>

GU, W. et al. Null Data Frame: A Double-Edged Sword in IEEE 802.11 WLANs. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems**, v. 21, n. 7, p. 897–910, jul. 2010.

GUO et al. Mobile Crowd Sensing and Computing: The Review of an Emerging Human-Powered Sensing Paradigm. **ACM Comput. Surv.**, v. 48, n. 1, p. 7:1–7:31, ago. 2015.

GUO, B. et al. **From participatory sensing to Mobile Crowd Sensing**. 2014 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PERCOM WORKSHOPS). **Anais...** In: 2014 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERVASIVE COMPUTING AND COMMUNICATION WORKSHOPS (PERCOM WORKSHOPS). mar. 2014

HONG, H.; DE SILVA, G. D.; CHAN, M. C. CrowdProbe: Non-invasive Crowd Monitoring with Wi-Fi Probe. **Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies**, v. 2, n. 3, p. 1–23, 18 set. 2018.

HONG, H.; LUO, C.; CHAN, M. C. **SocialProbe: Understanding Social Interaction Through Passive WiFi Monitoring**. Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services - MOBIQUITOUS 2016. **Anais...** In: THE 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE. Hiroshima, Japan: ACM Press, 2016Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2994374.2994387>>. Acesso em: 28 jan. 2019

IEEE. **Special Report: The Internet of Things**. Disponível em: <<http://theinstitute.ieee.org/static/special-report-the-internet-of-things>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

IEEE, I. C. S. L. M. S. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. **ANSI/IEEE Std. 802.11-1999**, 1999.

JACKSON, D. K.; KLEIN, D. V. **Point-of-interest latency prediction using mobile device location history**, 3 maio 2016. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US9329047B2/en>>. Acesso em: 1 ago. 2019

JAMIESON, S. Likert scales: how to (ab)use them. **Medical Education**, v. 38, n. 12, p. 1217–1218, 1 dez. 2004.

KANHERE, S. S. **Participatory Sensing: Crowdsourcing Data from Mobile Smartphones in Urban Spaces**. 2011 12th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM). **Anais...** In: 2011 12TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE DATA MANAGEMENT (MDM). jun. 2011

KANJO, E. et al. MobSens: Making Smart Phones Smarter. **IEEE Pervasive Computing**, v. 8, n. 4, p. 50–57, out. 2009.

KELLING, S. et al. **eBird: A Human/Computer Learning Network for**

biodiversity conservation and research. Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence. **Anais...**2012

KELLY, S. D. T.; SURYADEVARA, N. K.; MUKHOPADHYAY, S. C. Towards the Implementation of IoT for Environmental Condition Monitoring in Homes. **IEEE Sensors Journal**, v. 13, n. 10, p. 3846–3853, out. 2013.

KHADDAR, M. A. E.; BOULMALF, M. Smartphone: The Ultimate IoT and IoE Device. **Smartphones from an Applied Research Perspective**, 2 nov. 2017.

KHAN, W. Z. et al. Mobile Phone Sensing Systems: A Survey. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, v. 15, n. 1, p. 402–427, First 2013.

LANE, N. D. et al. **Urban sensing systems: opportunistic or participatory?** Proceedings of the 9th workshop on Mobile computing systems and applications. **Anais...**ACM, 2008

LEE, R.; WAKAMIYA, S.; SUMIYA, K. Discovery of unusual regional social activities using geo-tagged microblogs. **World Wide Web**, v. 14, n. 4, p. 321–349, 1 jul. 2011.

LEVINE, U.; SHINAR, A.; SHABTAI, E. **System and method for realtime community information exchange**, 2008. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US9275544/en>>. Acesso em: 1 ago. 2019

LI, Q. et al. **QueueSense: Collaborative recognition of queuing on mobile phones.** 2014 Eleventh Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON). **Anais...** In: 2014 ELEVENTH ANNUAL IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSING, COMMUNICATION, AND NETWORKING (SECON). jun. 2014

LI, S.; XU, L. D.; ZHAO, S. The internet of things: a survey. **Information Systems Frontiers**, v. 17, n. 2, p. 243–259, 1 abr. 2015.

LU, Y. et al. **A queue analytics system for taxi service using mobile crowd sensing.** Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers - UbiComp '15. **Anais...** In: THE 2015 ACM INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE. Osaka, Japan: ACM Press, 2015Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2800835.2800887>>. Acesso em: 2 ago. 2019

LUI, G. et al. **Differences in RSSI readings made by different Wi-Fi chipsets: A limitation of WLAN localization.** 2011 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS). **Anais...** In: 2011 INTERNATIONAL CONFERENCE ON

LOCALIZATION AND GNSS (ICL-GNSS). jun. 2011

LUZIO, A. D.; MEI, A.; STEFA, J. **Mind your probes: De-anonymization of large crowds through smartphone WiFi probe requests.** IEEE INFOCOM 2016 - The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications. **Anais...** In: IEEE INFOCOM 2016 - THE 35TH ANNUAL IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATIONS. abr. 2016

MAISONNEUVE, N. et al. NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. **Information Technologies in Environmental Engineering**, p. 215–228, 2009.

MENTZER, J. T.; MOON, M. A. **Sales forecasting management: a demand management approach.** [s.l.] Sage, 2004.

MIRAZ, M. H. et al. **A review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT).** 2015 Internet Technologies and Applications (ITA). **Anais...** In: 2015 INTERNET TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS (ITA). set. 2015

MORAES, A. D.; FREITAS, A. E. S.; NETO, M. C. M. **Collaborative and GPS Sensing for Waiting Time Prediction on Service Queues through Smartphones.** Proceedings of the 2019 IEEE 23rd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. **Anais...** In: 2019 IEEE 23RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED COOPERATIVE WORK IN DESIGN. Porto, Portugal: IEEE, 2019

NOGUCHI, S. et al. **Student Attendance Management System with Bluetooth Low Energy Beacon and Android Devices.** 2015 18th International Conference on Network-Based Information Systems. **Anais...** In: 2015 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORK-BASED INFORMATION SYSTEMS. set. 2015

NOKIA. An Internet of Things blueprint for a smarter world. **NOKIA Strategic Whitepaper**, 2015.

OKOSHI, T. et al. **QueueVadis: Queuing Analytics Using Smartphones.** Proceedings of the 14th International Conference on Information Processing in Sensor Networks. **Anais...: IPSN '15.** New York, NY, USA: ACM, 2015. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2737095.2737120>>. Acesso em: 19 jan. 2016

OLIVEIRA, L. et al. **Automatic detection of waiting times using smartphones.** 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). **Anais...** In: 2017 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND

CYBERNETICS (SMC). out. 2017a

OLIVEIRA, L. et al. **Sherlock: Capturing Probe Requests for Automatic Presence Detection**. 2018 IEEE 22nd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design ((CSCWD)). **Anais...** In: 2018 IEEE 22ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED COOPERATIVE WORK IN DESIGN ((CSCWD)). maio 2018

OLIVEIRA, L. et al. Mobile Device Detection through WiFi Probe Request Analysis. **IEEE Access**, v. 7, p. 98579–98588, 2019.

OLIVEIRA, L. F. et al. **Leveraging the crowd collaboration to monitor the waiting time of day-to-day services**. 2015 IEEE 19th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD). **Anais...** In: 2015 IEEE 19TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED COOPERATIVE WORK IN DESIGN (CSCWD). maio 2015a

OLIVEIRA, L. F. et al. **Leveraging the crowd collaboration to monitor the waiting time of day-to-day services**. 2015 IEEE 19th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD). **Anais...** In: 2015 IEEE 19TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED COOPERATIVE WORK IN DESIGN (CSCWD). maio 2015b

OLIVEIRA, L. F. et al. **Designing for monitoring the waiting time of day-to-day services**. 2016 IEEE 20th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD). **Anais...** maio 2016

OLIVEIRA, L. F. S. et al. Crowd sensing to monitor the waiting time of day-to-day services. **International Journal of Computer Science: Theory and Application**, v. 2017, n. 0, 16 jul. 2017b.

OLIVEIRA, L. F. S.; PASSOS, D.; ALBUQUERQUE, C. V. N. **Evaluating secondary transmission opportunities with full duplex radios**. 2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). **Anais...** jun. 2014

OTSASON, V. et al. **Accurate GSM Indoor Localization**. (M. Beigl et al., Eds.) UbiComp 2005: Ubiquitous Computing. **Anais...**: Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2005

PAEK, J.; KIM, J.; GOVINDAN, R. **Energy-efficient Rate-adaptive GPS-based Positioning for Smartphones**. Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. **Anais...**: MobiSys '10. New York, NY, USA: ACM, 2010

PASSO, D. **ANÁLISE DA QUALIDADE DE CLASSIFICADORES PARA IDENTIFICAÇÃO DE ALVOS URBANOS EM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL -UMA APLICAÇÃO COM AS IMAGENS DO SATÉLITE WORLDVIEW II.** [s.l: s.n.].

PETRUSO, K. M. Early weights and weighing in Egypt and the Indus Valley. **M Bulletin (Museum of Fine Arts, Boston)**, v. 79, p. 44–51, 1981.

SCHNEIDER, D. **UMA ABORDAGEM DE COMPUTAÇÃO SOCIAL PARA A CONSTRUÇÃO DE HISTÓRIAS E TRAMAS NOTICIOSAS POR MEIO DA CURADORIA SOCIAL.** [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2015.

SECRON, T. M. et al. **Sigaciente: Uma ferramenta para inferência do trânsito e de rotas seguras baseada em dados sociais.** ERSI'2016. **Anais...2016**

SEHGAL, S.; KANHERE, S. S.; CHOU, C. T. **Mobishop: Using mobile phones for sharing consumer pricing information.** Demo Session of the Intl. Conference on Distributed Computing in Sensor Systems. **Anais...2008**

SEIN, M. et al. Action design research. 2011.

SHEN, W.; NEWSHAM, G.; GUNAY, B. Leveraging existing occupancy-related data for optimal control of commercial office buildings: A review. **Advanced Engineering Informatics**, v. 33, p. 230–242, 1 ago. 2017.

SHU, H. et al. Queuing Time Prediction Using WiFi Positioning Data in an Indoor Scenario. **Sensors**, v. 16, n. 11, p. 1958, 22 nov. 2016.

STECCHINI, L. C. A History of Measures. **American Behavioral Scientist**, v. 4, n. 7, p. 18–21, 1 mar. 1961.

STILLA, U. et al. Airborne monitoring of vehicle activity in urban areas. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 35, n. B3, p. 973–979, 2004.

TANAKA, K.; NAITO, K. **Demo: Implementation of unconscious bus location sensing system with smartphone devices and beacon devices.** 2016 13th IEEE Annual Consumer Communications Networking Conference (CCNC). **Anais...** In: 2016 13TH IEEE ANNUAL CONSUMER COMMUNICATIONS NETWORKING CONFERENCE (CCNC). jan. 2016

THE RADICATI GROUP. **Mobile-Statistics-Report-2017-2021-Executive-Summary.pdf.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.radicati.com/wp/wp-content/uploads/2017/03/Mobile-Statistics-Report-2017-2021-Executive->

Summary.pdf>.

THUAN, N. H. et al. An Architecture Utilizing the Crowd for Building an Anti-virus Knowledge Base. In: **Future Data and Security Engineering**. [s.l.] Springer, Cham, 2014. p. 164–176.

TONGKE, F. Smart Agriculture Based on Cloud Computing and IOT. **Journal of Convergence Information Technology**, v. 8, n. 2, p. 210–216, 31 jan. 2013.

WANG, D.; ABDELZAHER, T.; KAPLAN, L. **Social Sensing: Building Reliable Systems on Unreliable Data**. 1 edition ed. Waltham, Mass.: Morgan Kaufmann, 2015.

WANG, J. et al. Real-time and generic queue time estimation based on mobile crowdsensing. **Frontiers of Computer Science**, v. 11, n. 1, p. 49–60, 1 fev. 2017.

WANG, Y. et al. **Tracking Human Queues Using Single-point Signal Monitoring**. Proceedings of the 12th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. **Anais...: MobiSys '14**. New York, NY, USA: ACM, 2014

WANG, Y.; WANG, J.; ZHANG, X. **QTime: A Queuing-Time Notification System Based on Participatory Sensing Data**. 2013 IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference. **Anais...** In: 2013 IEEE 37TH ANNUAL COMPUTER SOFTWARE AND APPLICATIONS CONFERENCE. jul. 2013

WEPPNER, J.; LUKOWICZ, P. Collaborative crowd density estimation with mobile phones. **Proc. of ACM PhoneSense**, 2011.

XU, C. et al. **Crowd++: unsupervised speaker count with smartphones**. . In: PROCEEDINGS OF THE 2013 ACM INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON PERVASIVE AND UBIQUITOUS COMPUTING. ACM, 8 set. 2013 Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2493432.2493435>>. Acesso em: 6 ago. 2019

YOSHIDA, T.; TANIGUCHI, Y. **Estimating the number of people using existing wifi access point in indoor environment**. Proceedings of the 6th European Conference of Computer Science (ECCS'15). **Anais...**2015

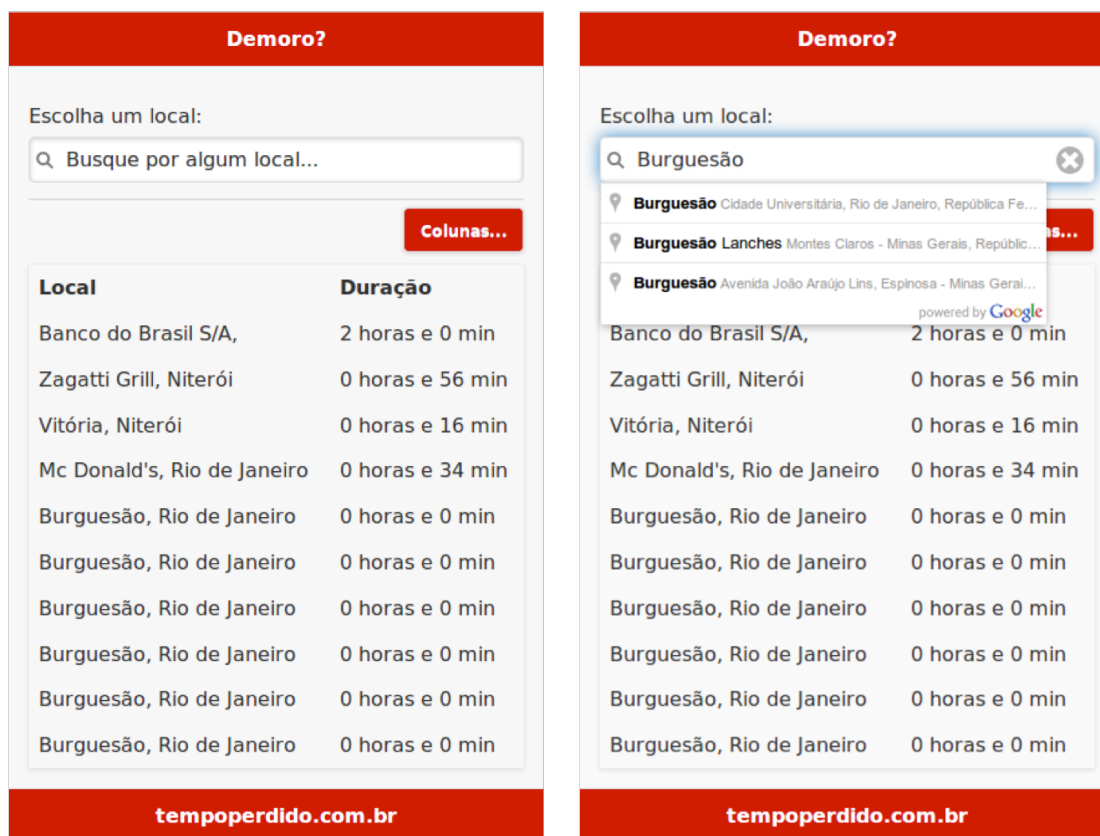
ZAPPI, P.; FARELLA, E.; BENINI, L. **Enhancing the spatial resolution of presence detection in a PIR based wireless surveillance network**. 2007 IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. **Anais...** In: 2007 IEEE CONFERENCE ON ADVANCED VIDEO AND SIGNAL BASED SURVEILLANCE. set. 2007

Apêndice A

Nesse apêndice será apresentado um breve histórico das versões de softwares desenvolvidas durante o processo de evolução do aplicativo Demorô.

Demorô versão 1.0

Inicialmente o projeto foi hospedado no domínio “tempoperdido.com.br”. A primeira versão dessa proposta foi desenvolvida no paradigma Web com uma interface amigável para dispositivos móveis. Esse foi o primeiro protótipo, desenvolvido em durante o ano de 2014. Essa versão foi desenvolvida com PHP, JQuery Mobile e MongoDB.



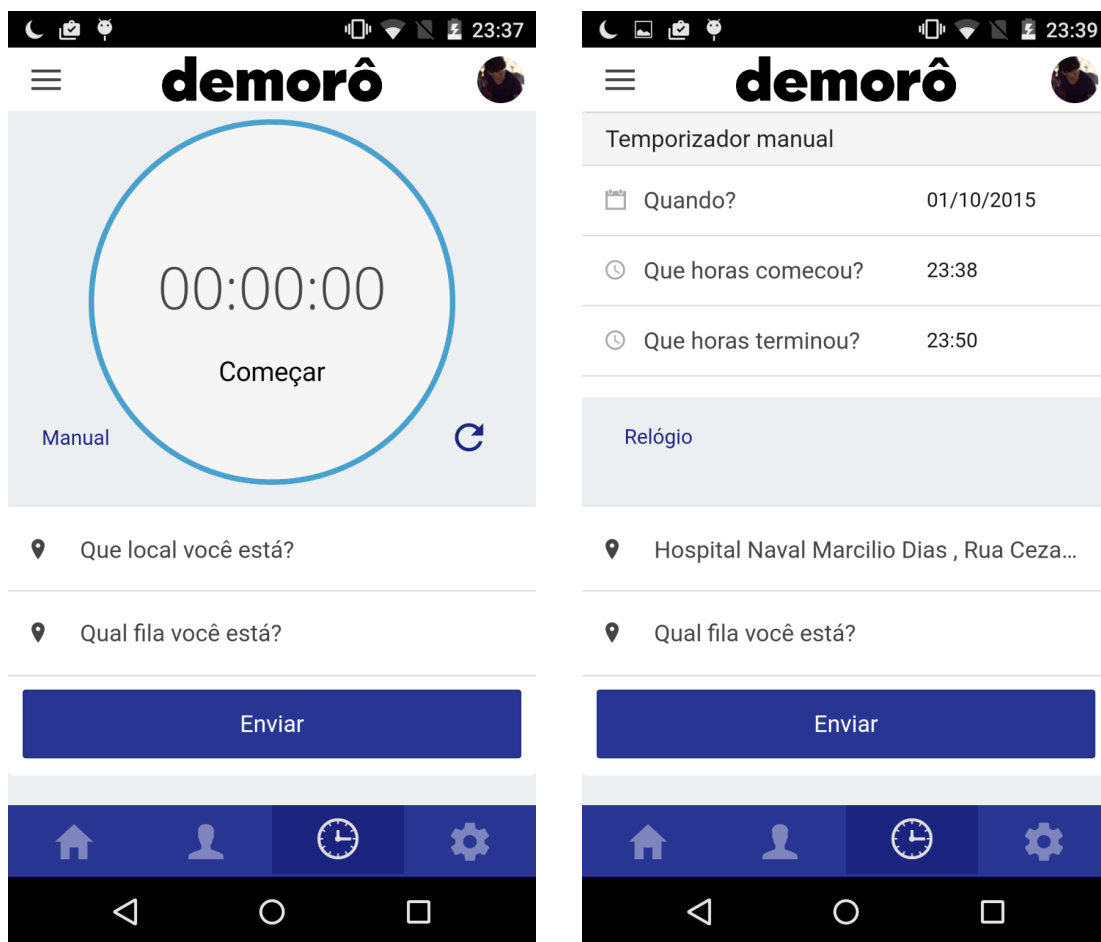
Tela inicial da primeira versão do aplicativo Demorô (elaborada pelo próprio autor)



Telas da primeira versão do aplicativo Demorô (elaborada pelo próprio autor)

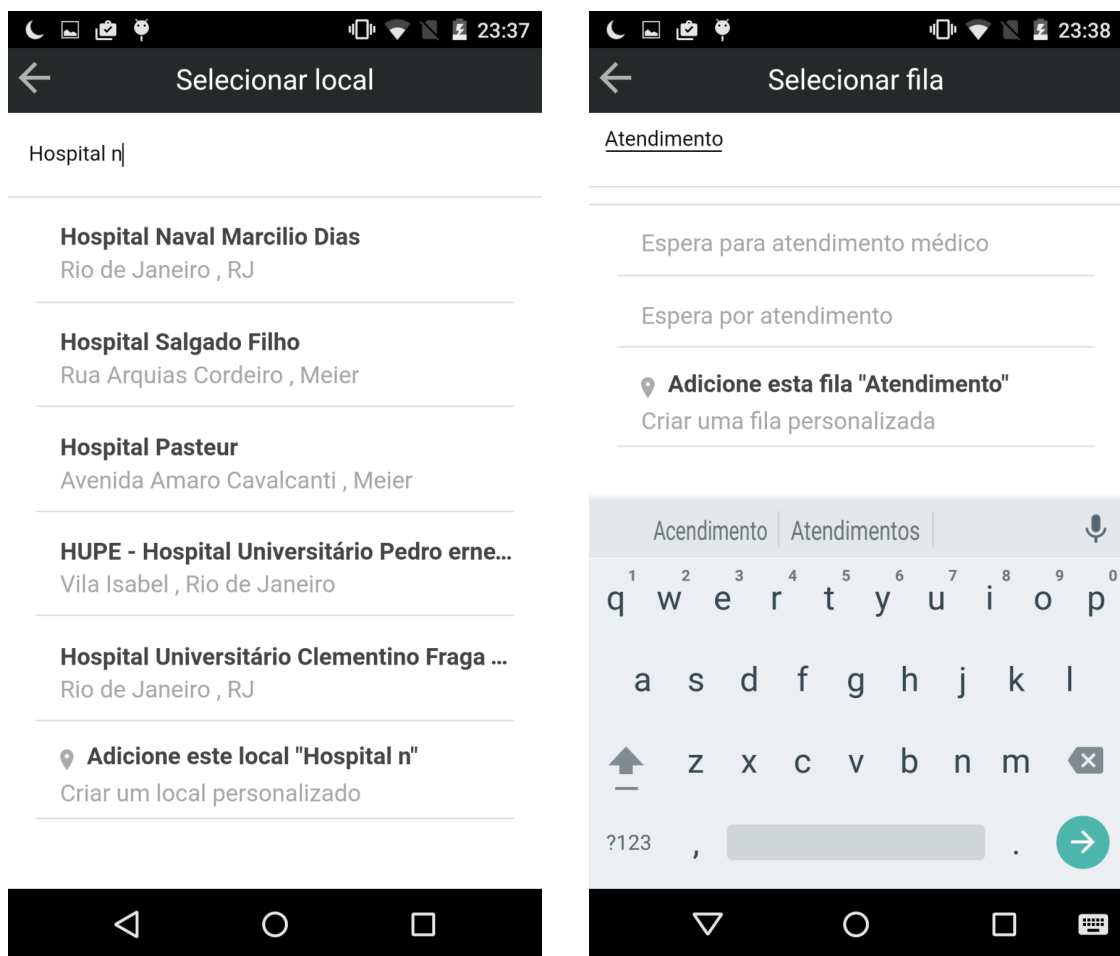
Demorô versão 2.0

Em um momento posterior foi empregado bastante esforço na evolução da interface através da construção de um Aplicativo Móvel Multiplataforma. Através do desenvolvimento de um aplicativo, a interface com o usuário poderia ser mais fluida e também seria possível coletar dados importantes do celular portado pelo usuário. O aplicativo Demorô foi construindo utilizando as seguintes tecnologias: Ionic Framework, Angular JS e Apache Cordova. O backend foi evoluído para endereçar novas funcionalidades, mas foram mantidas as mesmas tecnologias empregadas na versão anterior.



Tela inicial do Demorô versão 2.0

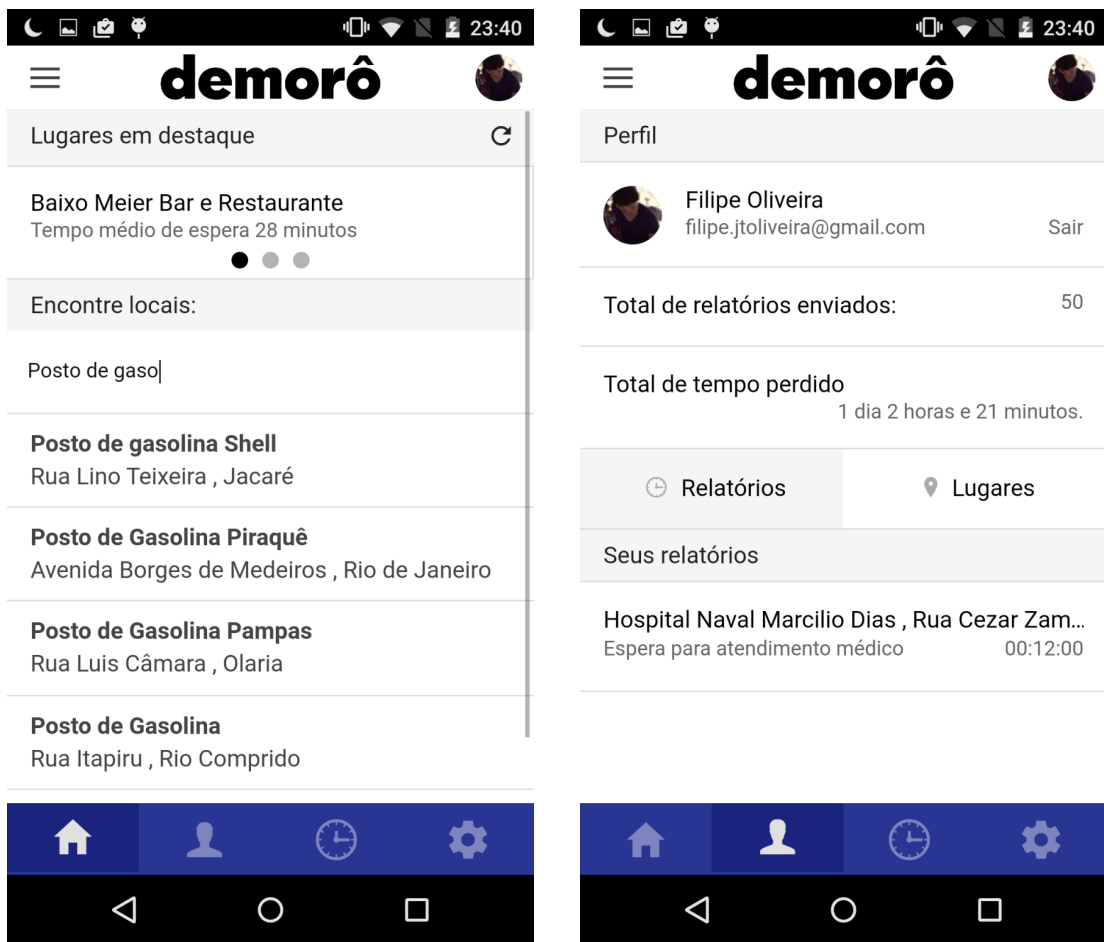
A principal inovação da versão 2.0 é a sua interface. A tela inicial consiste em um cronômetro que permite a monitoração de um evento de espera enquanto ele está ocorrendo. Alternativamente o usuário pode informar um evento de espera que já ocorreu, preenchendo os campos de data, hora de início e hora do término.



Fluxo de seleção de local, inferência e opção para criação de fila (elaborada pelo próprio autor)

Além dos dados temporais, o usuário deve informar também o local e a fila de espera. O usuário pode escolher um dos mais de 150 milhões de locais já cadastrados no Google Places, caso ainda assim o usuário não encontre o local, o estabelecimento em questão pode ser cadastrado na base do aplicativo Demorô.

Após a seleção de local, o aplicativo exibe as filas que foram inferidas a partir dos metadados do local obtidos no Google Places. Na imagem acima é possível perceber os tipos de espera inferidos para um estabelecimento de saúde. O aplicativo disponibiliza ainda uma opção para cadastro de fila, caso o tipo de espera experimentada pelo usuário não corresponda a um dos tipos de espera inferidos automaticamente.

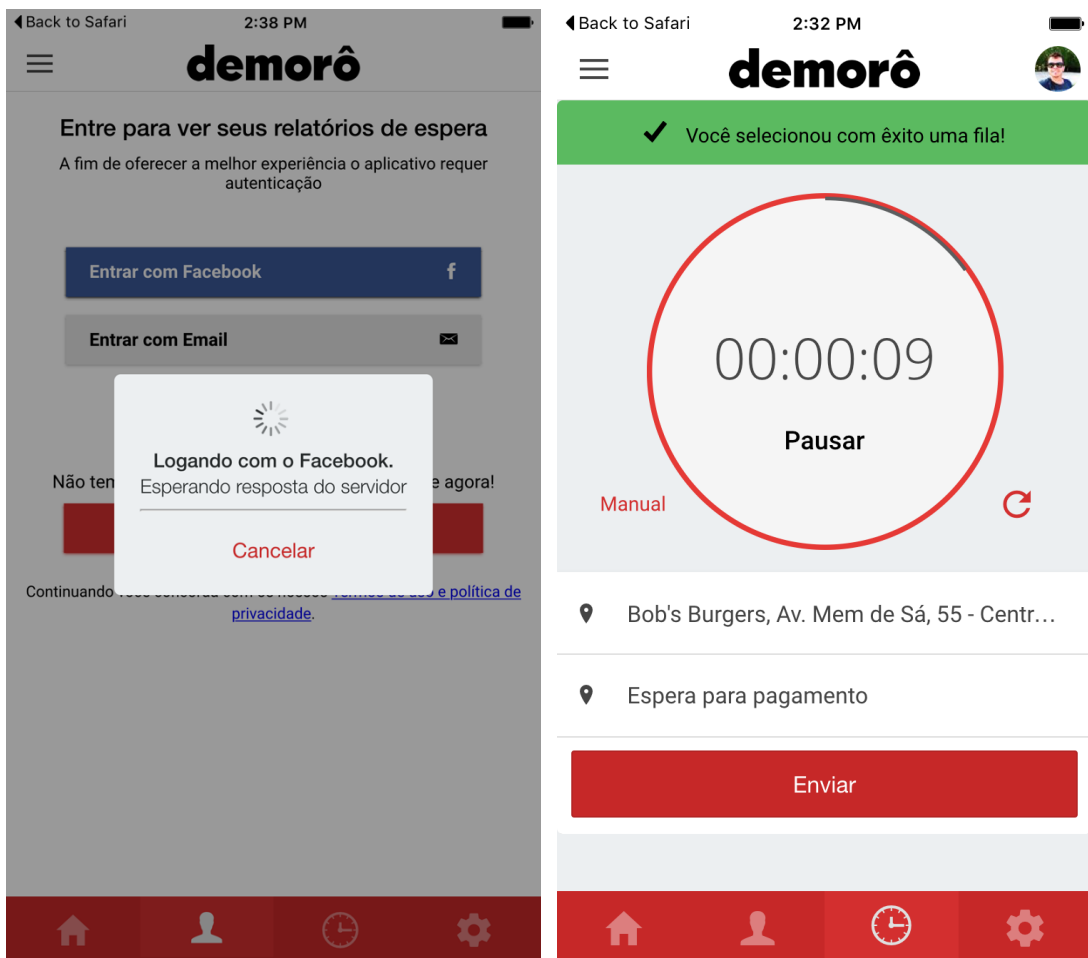


Exploração de locais e perfil do participante (elaborada pelo próprio autor)

Na imagem acima é possível visualizar o estágio inicial de uma tela de exploração de locais, onde o usuário poderá encontrar estabelecimentos com menores tempos de espera. Na parte direita da imagem é possível visualizar a tela de perfil do usuário, com o total de relatos já enviados, o somatório do tempo perdido em esperas, relatos e locais em que já relatou esperas.

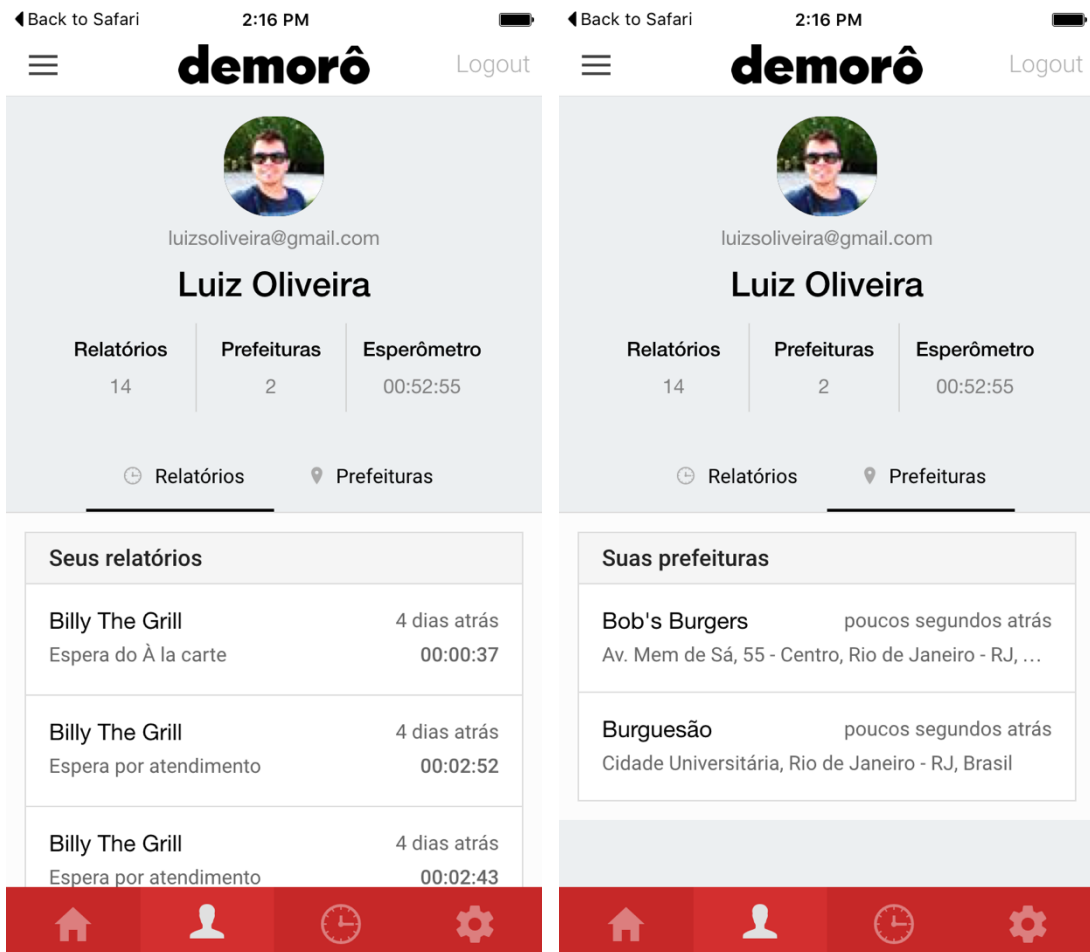
Demorô versão 3.0

A versão 3.0 do Demorô conta com algumas melhorias em sua interface e algumas novas funcionalidades. Uma funcionalidade importante foi o login por redes sociais, começando pelo Facebook. Essa funcionalidade facilitou o processo de cadastro e permitiu que informações da rede social fossem importadas para o cadastro do usuário.



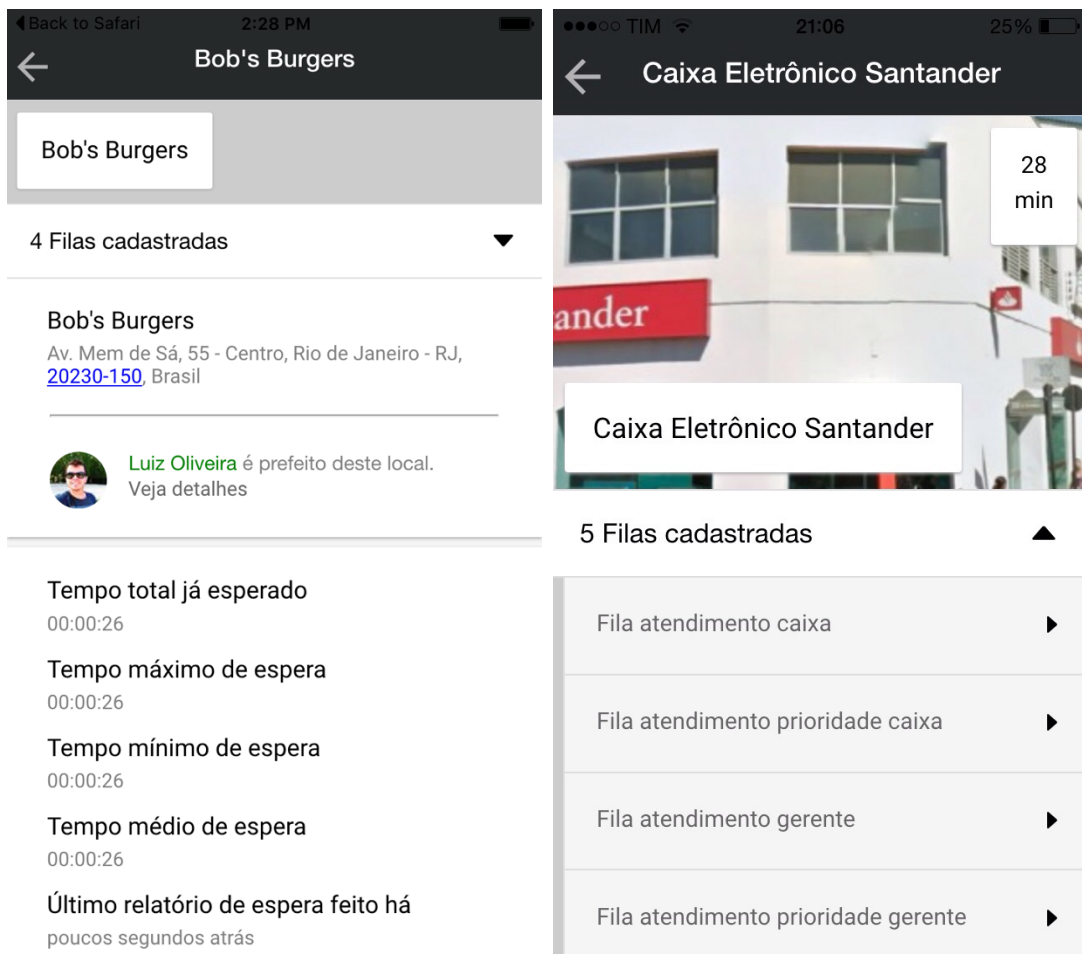
Tela de *login* e tela inicial do aplicativo Demorô (elaborada pelo próprio autor)

Na imagem acima é possível perceber a autenticação feita através do Facebook. Na parte superior direita da imagem é possível perceber que o usuário está autenticado. Ainda na parte direita da imagem é possível perceber a confirmação que o usuário recebe ao concluir o fluxo de seleção de local e fila de espera. Quando preenchidos todos os metadados o botão de enviar fica habilitado para que o usuário possa transmitir seu relato de espera.



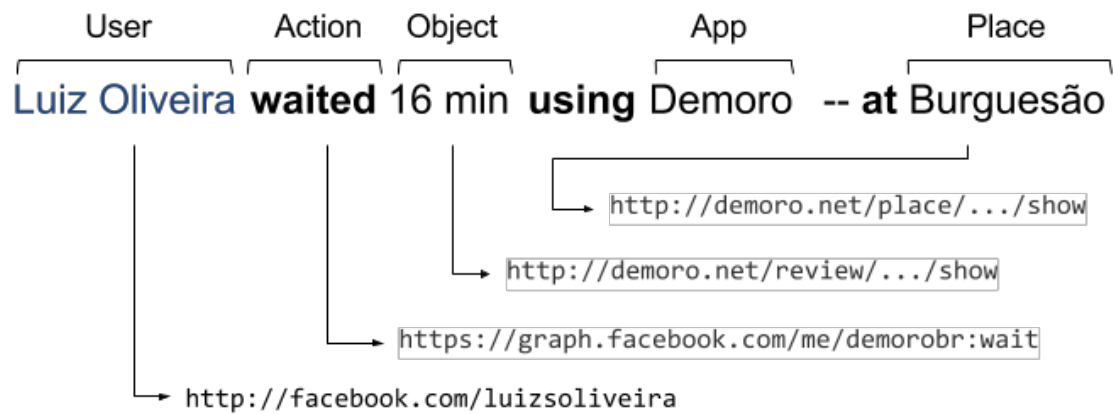
Telas de listagem de relatos e prefeituras do usuário do Demorô (elaborada pelo próprio autor)

Uma funcionalidade importante que foi implementada na versão 3.0 foi o endereçamento inicial da gamificação no projeto. A gamificação é uma estratégia para engajar usuários no envio de relatos de espera, e no Demorô foi adotado o conceito de prefeito de um local, originalmente proposto no aplicativo Foursquare. No Demorô o usuário que tiver enviado mais relatos de espera para um local é nomeado pela plataforma como prefeito do estabelecimento, sendo este um título honorífico como uma forma de reconhecimento do engajamento do usuário.

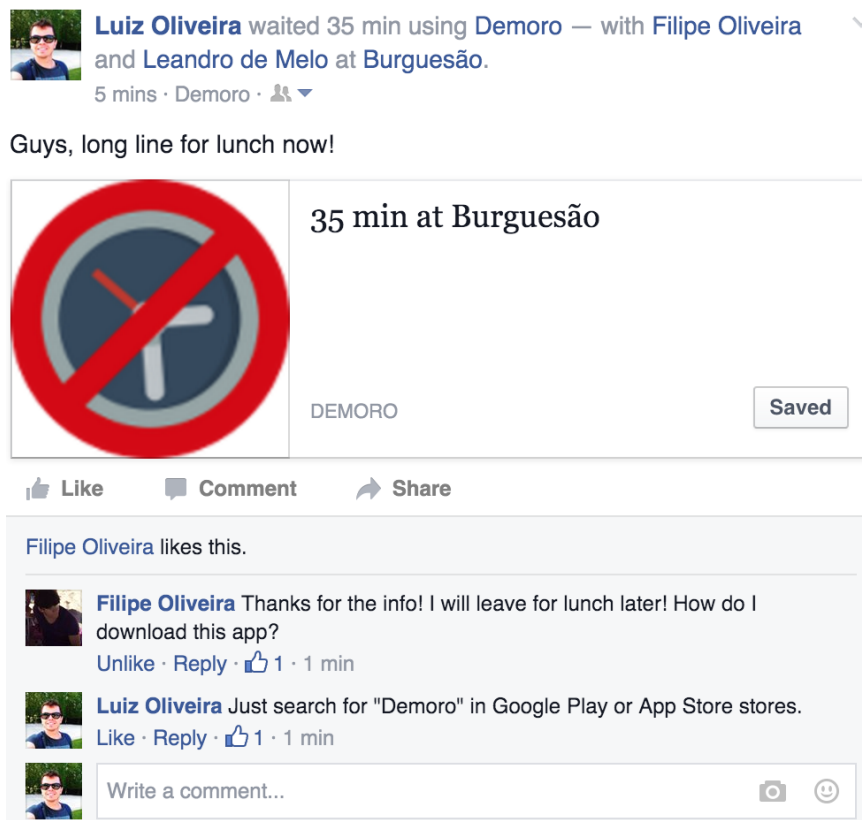


Telas do Demorô com informações sobre locais de espera (elaborada pelo próprio autor)

Na imagem acima é possível visualizar a tela que exibe informações de um local. Na parte esquerda da imagem é possível visualizar a informação sobre quantidade de filas cadastradas, endereço, prefeito do local e estatísticas dos relatos de espera associados ao local em questão.



Modelagem de um relato de espera do Demorô com Open Graph Stories (elaborada pelo próprio autor)



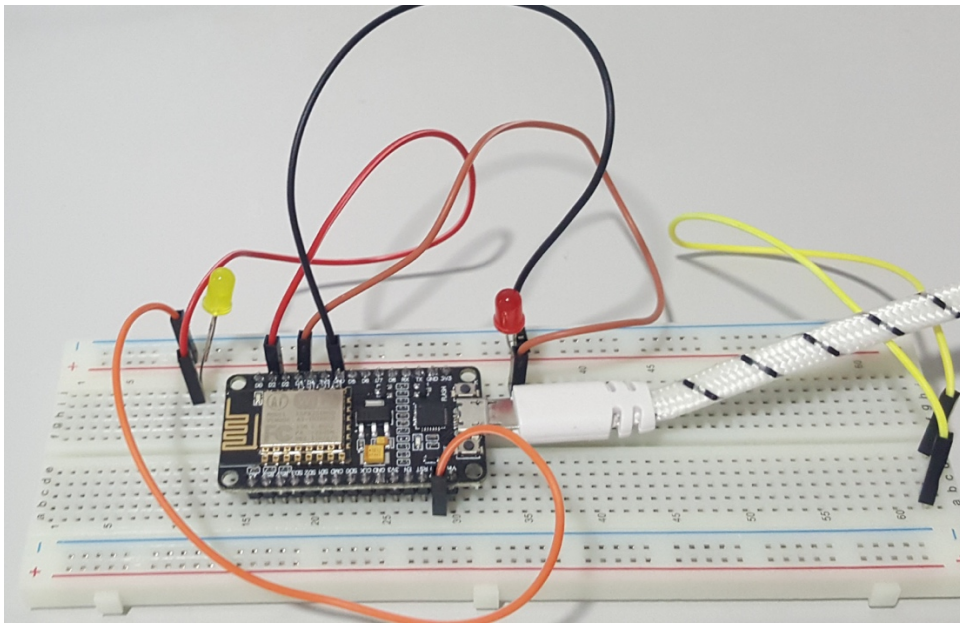
Relato de espera do Demorô com Open Graph Stories renderizado no Facebook (elaborada pelo próprio autor)

Apêndice B

Nesse apêndice será apresentado um breve histórico das versões de hardwares e softwares construídas durante o processo de evolução do dispositivo Sherlock.

ESP8266 com firmware NodeMCU e linguagem de programação Lua

A primeira versão do dispositivo foi desenvolvida em junho de 2017, utilizando para tal, a placa de prototipação ESP8266 e o firmware NodeMCU.



Primeira versão do dispositivo Sherlock (junho de 2017) (elaborada pelo próprio autor)

A imagem acima exibe a primeira versão do dispositivo Sherlock, na imagem é possível perceber ao centro a placa de prototipação ESP8266, apoiada em uma *protoboard*, e também a utilização de leds e jumpers. A primeira versão do mecanismo foi feita utilizando-se o firmware NodeMCU e a linguagem de programação Lua. Devido ao elevado nível de abstração dessa linguagem de programação, a primeira versão do mecanismo pôde ser desenvolvida com bastante agilidade. O equipamento exibido na imagem é capaz de detectar o envio de transmissões do tipo *probe* em diferentes canais de transmissão. Para efeitos de percepção externa do seu funcionamento, o dispositivo foi programado para piscar o led vermelho toda vez que percebe uma transmissão qualquer de *Probe Request*, e foi programado para piscar o led amarelo somente quando fosse detectada pela primeira vez a transmissão de um *probe* feita por uma origem particular.

Dessa forma, o led amarelo piscava apenas quando uma nova pessoa, ou um novo dispositivo fosse observado no ambiente.

Durante o desenvolvimento dessa versão foram encontradas duas limitações bastante críticas. A linguagem de programação Lua é interpretada, isso fazia com que o script desenvolvido tivesse que ser interpretado em tempo de execução pelo firmware no ESP8266. Devido aos limitados recursos de hardware disponíveis no equipamento, mesmo programas muito simples esbarravam em limites de memória do dispositivo, torando instável o funcionamento do mecanismo e inviabilizando o desenvolvimento de novas funcionalidades. A segunda limitação importante, foi a indisponibilidade de informações detalhadas do *probe* detectado, imposta pela biblioteca padrão do firmware NodeMCU para registro de *listeners* desse tipo de transmissão. Dentre as informações não disponíveis deve ser ressaltada a ausência do conteúdo da transmissão, que é o SSID solicitado, quando aplicável. Esse tipo de informação pode ser bastante sensível quando se deseja desanonimizar a transmissão, ou seja, descobrir informações sobre o portador do dispositivo sem fio sem ter um cadastro prévio que relacione dispositivos à pessoas.

ESP8266 com firmware original e linguagem de programação C++

Devido as limitações impostas pelo firmware modificado, a saber NodeMCU, optou-se por utilizar o firmware convencional e por escrever programas utilizando a linguagem de programação C++. Através dessa arquitetura é possível obter o melhor desempenho no mecanismo e ter acesso às informações coletadas pelo dispositivo com o maior nível de detalhe possível. O custo para se obter esses benefícios é a utilização de uma linguagem de programação e bibliotecas que disponibilizem menor grau de abstração, tornando o desenvolvimento de código mais custoso.

```
pio device monitor --port /dev/cu.wchusbserial1420 --baud 115200
MacBook-Pro-de-Luiz:sherlock luizoliveira$ pio device monitor --port /dev/cu.wchusbserial1420 --baud 115200
--- Miniterm on /dev/cu.wchusbserial1420 115200,8,N,1 ---
--- Quit: Ctrl+C | Menu: Ctrl+T | Help: Ctrl+T followed by Ctrl+H ---
26 - RSSI: -78 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID:
27 - RSSI: -81 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID:
28 - RSSI: -82 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID: Zizi
29 - RSSI: -79 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID:
30 - RSSI: -49 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID: Zizi
31 - RSSI: -48 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID: Zizi
32 - RSSI: -47 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID:
33 - RSSI: -46 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID: Zizi
34 - RSSI: -45 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID:
35 - RSSI: -44 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID: Zizi
36 - RSSI: -48 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID:
37 - RSSI: -50 - Ch: 7 - dst MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - src MAC: e8:50:8b:c6:1b:2e - bssid MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff - SSID: Zizi
```

Exemplo de saída exibida pelo terminal de comunicação com a placa (elaborada pelo próprio autor)

A imagem acima exibe um exemplo de saída do terminal de comunicação serial com a placa ESP8266. A partir dessa versão, o terminal foi adotado como principal interface de depuração para averiguação do funcionamento do mecanismo para fins de desenvolvimento. A detecção dos *probes* configura-se como a parte principal do problema, porém essa informação não terá serventia alguma se não puder ser transmitida para algum outro ente responsável por processá-la e disponibilizá-la para alguma instância responsável pela análise.

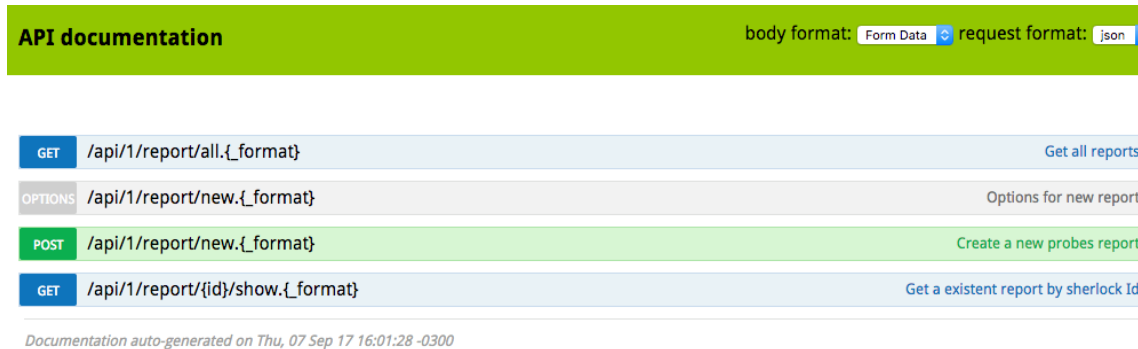
Ainda nessa versão do mecanismo, foi modelada uma estrutura de dados do tipo fila, para que os *probes* detectados sejam armazenados. A estrutura de dados em questão foi escolhida para se criar um fluxo em que, as informações a cerca dos *probes* coletados aguardem em uma fila até que sejam enviadas para outro elemento da arquitetura responsável por recebê-las. Com a estrutura de fila é possível garantir que as informações mais antigas a respeito de *probes* sejam encaminhadas para o servidor, enquanto as informações mais recentes são enfileiradas, criando-se assim um fluxo contínuo de coleta e transmissão de dados. Através dessa arquitetura foi possível fazer a coleta de todas as informações desejadas e o seu respectivo envio para o componente da arquitetura responsável por processá-las.

Observou-se rapidamente que mesmo com o uso de linguagem de programação mais enxuta, o dispositivo utilizado possuía ainda sim limitações bastante restritivas de memória RAM. Durante o desenvolvimento, observou-se que o equipamento era capaz de armazenar e enviar apenas informações de poucas centenas de *probes* sem comprometimento do seu funcionamento. Quando o dispositivo esbarra no seu limite de memória ele reinicia automaticamente, perdendo assim todas as informações persistidas em memórias voláteis.

Ficou constatado então que deveria ser pesquisado meios que permitissem o armazenamento dos dados em dispositivo de memória não volátil, permitindo que os dados sejam coletados, armazenados em maior número, e enviados assim que possível. A partir desse momento, foi iniciado o desenvolvimento simultâneo de duas versões do mecanismo, uma mantendo o uso da plataforma ESP8266 e outra utilizando o hardware Raspberry Pi 3, porém ambos com o uso de cartões MicroSD. A utilização de mídias de persistência não volátil permite que o mecanismo sobreviva a longos períodos de tempo sem conectividade, permitindo o seu uso, sem perda de dados, em aplicações que não se tenha conectividade em todo o tempo, como redes DTN (Delay-tollerant networking), ou redes tolerantes a atraso.

API REST para recepção de informações coletadas

Conforme arquitetura proposta, os dados coletados pelos nós sensores precisam ser consolidados em uma infraestrutura central para utilização de todo o potencial dos dados, como o cálculo de trilateração que pode ser realizado a partir de leituras feitas de nós coletores que estão em diferentes posições do ambiente monitorado.



Página de documentação da API REST criada (elaborada pelo próprio autor)

A imagem acima ilustra a estrutura da API REST criada para receber os dados coletados pelos nós coletores. Tal API foi desenvolvida utilizando-se padrões atuais para interoperabilidade de serviços Web, como o padrão REST e também por tecnologias bastante consolidadas na Web, como o PHP e o Symfony Framework. Os nós responsáveis por coletar tais informações, implementam um cliente HTTP capaz de enviar uma requisição do tipo POST no formato JSON enviando os dados coletados para o servidor que hospeda a API desenvolvida. Conforme pode ser visto na imagem, o principal método é o que permite a criação de um novo relato de *probes*, que pode conter diversos *probes* coletados pelo nó sensor.

Interface para administração e visualização de dados

Além da API desenvolvida, descrita na seção anterior, foi também implementada uma interface Web para administração dos dados. Essa interface foi construída para que os nós possam ser cadastrados e que os dados de autenticação desses nós possam ser mantidos. Além dessas funcionalidades, é possível também fazer uma exploração inicial dos relatos e *probes* recebidos.

The screenshot shows the Sherlock Admin interface. At the top, there is a navigation bar with 'Sherlock Admin', 'Dashboard', and 'Probe List'. Below this is a table with columns: Beacon Mac, Id, Dst Mac, Src Mac, Bssid Mac, Ssid, Captured At, Created At, Updated At, and Action. The table contains 20 rows of data. To the right of the table is a 'Filters' sidebar with input fields for Id, Beacon Mac, Dst Mac, Src Mac, Bssid Mac, Ssid, Captured At, Created At, and Updated At. At the bottom of the sidebar are 'Filter' and 'Reset' buttons.

Beacon Mac	Id	Dst Mac	Src Mac	Bssid Mac	Ssid	Captured At	Created At	Updated At	Action
Sc:cf:7fed:f8	596fdff6d098c3ae5026b174	ff:ff:ff:ff:ff:ff	80:d2:1d:4a:08:02	ff:ff:ff:ff:ff:ff			2017-07-19 19:38:39	2017-07-19 19:38:39	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fdff6d098c3ae5026b175	ff:ff:ff:ff:ff:ff	80:d2:1d:4a:08:02	ff:ff:ff:ff:ff:ff	MEGUE		2017-07-19 19:38:39	2017-07-19 19:38:39	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fdff6d098c3ae5026b176	ff:ff:ff:ff:ff:ff	80:d2:1d:4a:08:02	ff:ff:ff:ff:ff:ff			2017-07-19 19:38:39	2017-07-19 19:38:39	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fdff6d098c3ae5026b177	ff:ff:ff:ff:ff:ff	80:d2:1d:4a:08:02	ff:ff:ff:ff:ff:ff	MEGUE		2017-07-19 19:38:39	2017-07-19 19:38:39	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fdff6d098c3ae5026b178	ff:ff:ff:ff:ff:ff	80:d2:1d:4a:08:02	ff:ff:ff:ff:ff:ff	MEGUE		2017-07-19 19:38:39	2017-07-19 19:38:39	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fdffad098c3d45226b175	ff:ff:ff:ff:ff:ff	30:cb:f8:ad:bd:1a	ff:ff:ff:ff:ff:ff	#NET-WIFI		2017-07-19 19:40:58	2017-07-19 19:40:58	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fdffad098c3d45226b176	ff:ff:ff:ff:ff:ff	30:cb:f8:ad:bd:1a	ff:ff:ff:ff:ff:ff	#NET-WIFI		2017-07-19 19:40:58	2017-07-19 19:40:58	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fdffad098c3d45226b177	ff:ff:ff:ff:ff:ff	40:49:0f:c1:6c:4b	ff:ff:ff:ff:ff:ff			2017-07-19 19:40:58	2017-07-19 19:40:58	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fdffad098c3d45226b178	ff:ff:ff:ff:ff:ff	08:8c:2cad:87:1d	ff:ff:ff:ff:ff:ff	TIM Wi-Fi SIM		2017-07-19 19:40:58	2017-07-19 19:40:58	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fdffad098c3d45226b179	ff:ff:ff:ff:ff:ff	08:8c:2cad:87:1d	ff:ff:ff:ff:ff:ff	TIM Wi-Fi SIM		2017-07-19 19:40:58	2017-07-19 19:40:58	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fe134d098c35f4726b175	ff:ff:ff:ff:ff:ff	6c:ad:f8:7d:ad:83	ff:ff:ff:ff:ff:ff			2017-07-19 19:46:12	2017-07-19 19:46:12	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fe1bed098c3b05026b175	ff:ff:ff:ff:ff:ff	5cc9:d3:17:9ba5	ff:ff:ff:ff:ff:ff			2017-07-19 19:48:30	2017-07-19 19:48:30	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fe1bed098c3b05026b176	ff:ff:ff:ff:ff:ff	5cc9:d3:17:9ba5	ff:ff:ff:ff:ff:ff			2017-07-19 19:48:30	2017-07-19 19:48:30	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fe1bed098c3b05026b177	ff:ff:ff:ff:ff:ff	08:8c:2cad:87:1d	ff:ff:ff:ff:ff:ff	TIM Wi-Fi SIM		2017-07-19 19:48:30	2017-07-19 19:48:30	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fe1bed098c3b05026b178	ff:ff:ff:ff:ff:ff	08:8c:2cad:87:1d	ff:ff:ff:ff:ff:ff	TIM Wi-Fi SIM		2017-07-19 19:48:30	2017-07-19 19:48:30	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fe315d098c3ad5026b176	ff:ff:ff:ff:ff:ff	5cc9:d3:17:9ba5	ff:ff:ff:ff:ff:ff			2017-07-19 19:54:13	2017-07-19 19:54:13	Show Edit Delete
Sc:cf:7fed:f8	596fe315d098c3ad5026b177	ff:ff:ff:ff:ff:ff	44:80:eb:8d:79:4c	ff:ff:ff:ff:ff:ff	roberta		2017-07-19 19:54:13	2017-07-19 19:54:13	Show Edit Delete

Interface de administração de probes do Sherlock (elaborada pelo próprio autor)

Conforme pode ser visto na imagem acima, a interface de administração do Sherlock permite visualização dos *probes* detectados por qualquer um dos nós coletores. É possível perceber a existência de um grid contendo as informações de um *probe*, bem como uma interface para aplicação de filtros que permite selecionar resultados em função do endereço físico do nó coletor, do endereço físico do dispositivo gerador do *probe* e diversos outros atributos.

ESP8266 com firmware original, linguagem de programação C++ e utilização de cartão MicroSD

O mecanismo proposto nesse trabalho pode ser empregado em diferentes cenários que refletem diferentes necessidades de negócio. Até o momento, nas versões e artefatos anteriores já descritos, tratou-se de um mecanismo que fosse capaz de transmitir as informações coletadas para o servidor em tempo real, ou com uma latência tolerável. Acontece que existem dois fatores que podem dificultar bastante o alcance desses objetivos. O primeiro deles diz respeito a memória disponível no hardware utilizado para armazenamento de dados, que é bastante restrita. O segundo motivo é a impossibilidade do nó sensor se conectar em uma rede *WiFi* para envio dos dados a qualquer momento.

Não é muito difícil modelar cenários em que o sensor não tenha conectividade de rede disponível a qualquer momento, como em redes veiculares ou em redes tolerantes a

atraso de uma forma geral. O fato é, mesmo considerando a disponibilidade de conexão a uma rede, o sensor teria dificuldade de perceber *probes* enviados por outros nós enquanto o próprio nó está transmitindo informações, problema este conhecido como auto interferência já abordado por este autor em (Oliveira et al., 2014). Para resolver esse problema, uma solução que trate a questão da indisponibilidade de conexão de rede, e ao mesmo tempo também evite a necessidade de transmitir informações a todo momento é o armazenamento local dos dados coletados.

Para resolver o problema de armazenamento local optou-se por incluir na arquitetura do mecanismo um módulo para leitura e gravação em cartões microSD. A abordagem utilizada até o momento é a mais simples possível: os dados são gravados em arquivos no formato CSV texto plano, e cada um dos atributos são separados pelo caractere “;”. Os dados são gravados em um mesmo arquivo até que seja alcançado um limite, verificado empiricamente, a respeito da capacidade do hardware de gerenciar arquivos grandes. Sendo assim, antes que esse limite seja alcançado é feito um processo de paginação, onde os dados são gravados em novo arquivo. Esse processo é feito iterativamente, quantas vezes forem necessárias; e o resultado final é um conglomerado de arquivos CSV sequenciais com os dados coletados.

O armazenamento local de forma alguma extingue a necessidade do envio dos dados para uma infraestrutura central. O mecanismo de armazenamento local, apenas permite que esse envio seja postergado para um momento que o nó tenha conectividade disponível para realização do upload dos dados. Por exemplo, no cenário que este sensor seja instalado em um veículo, o nó poderia coletar dados de *probe* durante todo o dia, e fazer o envio dos dados apenas quando este veículo retornasse para a garagem.

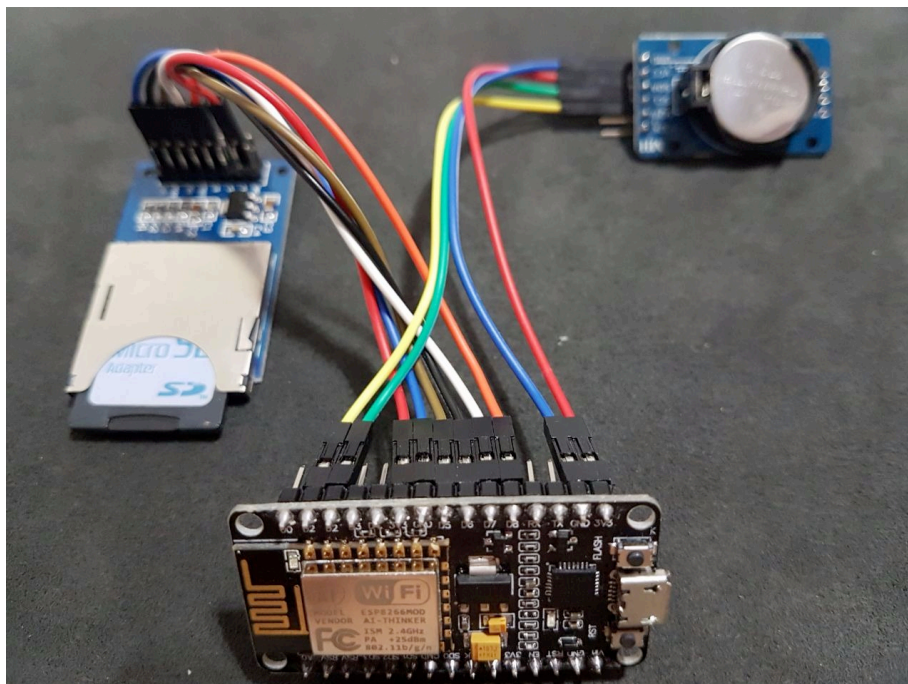
ESP8266 com firmware original, linguagem de programação C++, utilização de cartão MicroSD e módulo de relógio em tempo real

Uma vez que a desconectividade foi contornada em parte através do armazenamento local dos *probes* coletados, restou ainda resolver outro problema causado pela desconectividade de rede dos nós. Pela arquitetura original do hardware, o mesmo não possui a capacidade de manter o horário ajustado enquanto está desligado, ou mesmo após uma simples reinicialização. Esse tipo de dificuldade estava sendo contornada com um procedimento que permitia ao mecanismo ajustar seu relógio automaticamente através da comunicação com um servidor através do protocolo NTP. Esse tipo de processo é possível somente quando se tem a garantia que toda vez que iniciado o mecanismo terá

acesso a internet, ou ao menos ao servidor NTP em questão. Conforme já mencionado na seção anterior, esse tipo de garantia não pode ser satisfeita em diversos cenários. Por outro lado, o mecanismo precisa ter sempre a garantia de que ao escrever os dados coletados em seu armazenamento local, dispor sempre ao seu alcance imediato a informação do horário atualizada e de forma precisa, para que os dados coletados sejam utilizados com a melhor efetividade possível.

Para resolver esse problema, optou-se então por anexar à arquitetura do mecanismo um módulo de relógio em tempo real. Esse módulo pode ser adquirido a custo muito baixo, e é formado principalmente por um circuito integrado DS3231 e uma bateria CR2032. A função desse módulo é, uma vez com o horário ajustado, persistir essa informação atualizada mesmo com a interrupção do fornecimento de energia do hardware principal. Em linhas gerais, trata-se de um circuito auxiliar com a capacidade de cumprir a tarefa de um relógio de alta precisão, alimentado por uma bateria dedicada, e que pode ser lido ou alterado pelo hardware principal. Como uma bateria desse tipo pode durar por anos cumprindo esse tipo de função, as possibilidades de interrupção da coleta dos dados por problemas de relógio ficam bastante isoladas.

Mesmo com esse módulo, ao ser iniciado o hardware continua tentando fazer a atualização de relógio através de servidores remotos, quando disponíveis, porém quando esta tarefa não é possível, o mecanismo é capaz de obter o horário atual localmente de uma fonte confiável. Quando é possível obter esse horário remotamente, o mecanismo local de relógio é ajustado com base nos dados obtidos pelo servidor NTP.



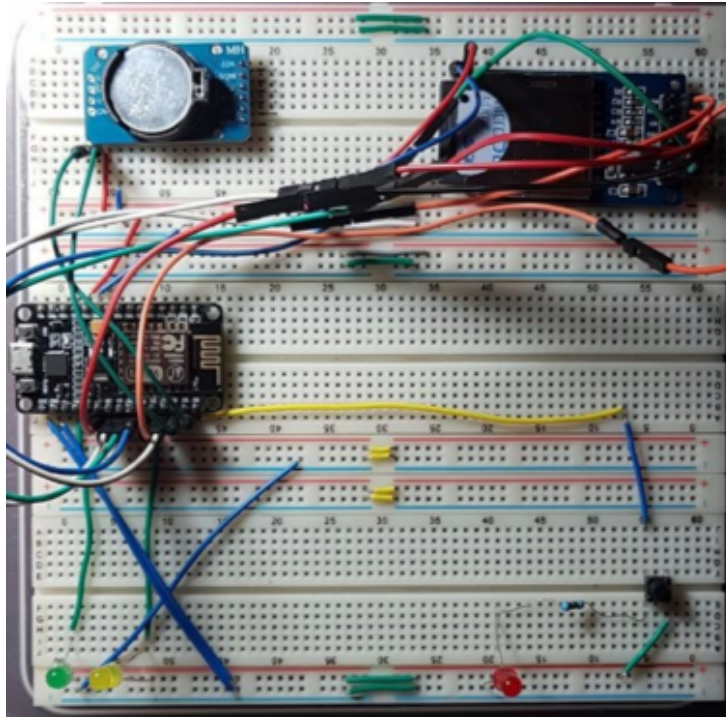
Terceira versão do dispositivo Sherlock (setembro de 2017) (elaborada pelo próprio autor)

A imagem acima ilustra a terceira versão do dispositivo Sherlock, que já conta com os módulos de microSD e o módulo de relógio de tempo real. Na parte esquerda da imagem é possível conferir um módulo de microSD, conectado às portas de comunicação e de alimentação com o ESP8266. Complementarmente, é possível perceber também, no lado direito da imagem, o mecanismo de relógio em tempo real conectado às portas de comunicação e alimentação com o ESP8266.

ESP8266 com firmware original, linguagem de programação C++, utilização de cartão MicroSD e módulo de relógio em tempo real (versão específica para experimento)

Nesse momento, foi alcançada um nível de maturidade para o protótipo suficiente para realização de experimentos reais. Nesse intuito, foi desenvolvida uma versão especial do mecanismo Sherlock para ser utilizada no primeiro experimento planejado. Conforme pode ser visto na figura abaixo, essa versão foi montada em uma *proto-board* e o seu principal diferencial é a existência de um botão que será descrito a seguir.

A *proto-board* é uma placa para prototipação de circuitos eletrônicos, ela cumpre a função de conectar diferentes circuitos, substituindo para fins de prototipação uma placa de circuito impresso. Além dos módulos já descritos nas seções anteriores, essa versão do dispositivo conta também com um botão e alguns leds de sinalização. Esse botão, quando acionado por um dos pesquisadores, cria uma entrada no arquivo de log, estabelecendo um marco temporal explícito da chegada de um dos participantes. Essa informação é de acesso restrito aos pesquisadores, utilizada somente para fins de avaliação do mecanismo. O mecanismo Sherlock não tem acesso a essa informação em nenhuma circunstância.



Quarta versão do dispositivo Sherlock (específica para experimento) (elaborada pelo próprio autor)

Na imagem acima é possível perceber a existência dos mesmos módulos descritos nas versões anteriores, a saber o módulo principal ESP8266, RTC e SD Card. Além desses módulos, é possível observar também a existência de três leds e um push button. Os leds indicam quando o dispositivo está ligado, quando detecta um *probe*, e quando o *probe* é o primeiro detectado de uma determinada origem. Essa versão foi utilizada para realização dos experimentos, cujos resultados foram publicados em (OLIVEIRA et al., 2018).

Apêndice C

Para entender melhor os problemas envolvidos no atendimento a esses tipos de serviços, foram realizadas entrevistas com usuários e funcionários dos segmentos indicados na pesquisa de opinião. Em cada uma dessas entrevistas, foram colocadas as seguintes questões: "Explique como seu trabalho funciona"; "Quais são os principais motivos que causam atrasos e longas esperas?" e "Quais são os casos em que o tempo de espera elevado é justificado?". O objetivo dessas entrevistas é aprofundar o conhecimento do problema e produzir uma lista de requisitos para uma solução de monitoração do tempo de espera. Ao decorrer do texto, os requisitos identificados através do processo de entrevistas serão enumerados.

Ao entrevistar uma dona de casa e um usuário de transporte público, ambos relataram que um problema comumente encontrado associado a elevados tempos de espera é a duplicidade de funções. Nos supermercados, os funcionários responsáveis pela caixa acabam encarregados de empacotar as mercadorias também, e em outros casos, os motoristas de ônibus também são responsáveis pelo tratamento de valores financeiros. Dois entrevistados informaram que seria muito importante que o aplicativo permita aos usuários enviar sugestões aos proprietários, para que eles possam melhorar seus serviços (Requisito 1, ou R1).

Outra história importante foi obtida por uma funcionária que trabalha há oito anos serviços de atendimento ao cliente por telefone. De acordo com a entrevistada, há dois motivos principais que causam elevados tempos de espera enfrentados pelos clientes desse serviço. O primeiro está relacionado ao número elevado de chamadas em um curto espaço de tempo, o que geralmente está associado a uma interrupção momentânea. O segundo motivo relatado, foi a necessidade do atendente, em alguns casos, precisar acionar outras equipes, responsáveis por temas de mais alta complexidade de suporte durante uma chamada. A entrevistada observou que um melhor treinamento do primeiro nível de suporte poderia reduzir o tempo de esperas.

Uma descoberta muito importante que pode ser obtida através dessa conversa é que, em muitos casos, mesmo com um tempo de serviço elevado, o usuário pode estar satisfeito. Isso acontece quando ele entende que seu problema é complexo e que foi possível observar compromisso e atenção por parte do atendente. Para dar o tratamento correto a esses casos, o entrevistado sugeriu que o aplicativo possuísse uma

funcionalidade que permita ao usuário fazer uma avaliação de sua satisfação associada a esse serviço (R2).

Uma história que levou a descobertas de grande importância foi obtida de um médico que tem experiência em cuidados de saúde em instituições públicas e privadas. De acordo com o entrevistado, o atendimento de emergência médica é de extrema necessidade, e quando a espera é longa, as consequências podem ser irreversíveis. Este relato mostra que, especialmente nos casos em que os pacientes aguardam leitos, transplantes ou transferências de hospitais para instituições especializadas, há ocorrências frequentes de óbitos enquanto esperam a provisão de suas necessidades.

Este problema não é exclusivo do sistema público, presente também no sistema de saúde privado, muitos pacientes esperam por semanas para autorização prévia de planos de saúde para realização de exames. De acordo com o entrevistado, existem três problemas principais que levam a falhas no atendimento em serviços de saúde. A primeira é a demanda que está muito acima da capacidade das instituições de saúde. Este problema é agravado pela falta de informação pública, o segundo motivo mencionado pelo entrevistado. A falta de informação leva as pessoas a procurarem ajuda nos lugares errados, por exemplo, indo para unidades de atendimento de emergência para investigar questões que poderiam ser resolvidas através de consultas em uma clínica do bairro ou através de uma consulta com um médico do programa saúde da família. O terceiro motivo é a má gestão que está presente na maioria das instituições de saúde. O departamento de gestão hospitalar é responsável, entre outras coisas, por implementar processos de triagem, implementando protocolos que agilizam e padronizam os cuidados médicos, investindo no treinamento de seus funcionários e implementando sistemas de TI que facilitam o acesso a registros de informações, estudos de imagem e outros recursos.

A história acima nos permitiu inferir dois novos requisitos para o sistema de monitoramento do tempo de espera. O primeiro, sugerido pelo entrevistado, é disponibilizar ao usuário uma lista com descrições dos serviços oferecidos pela instituição (R3): isso pode impedir as pessoas de esperar desnecessariamente por serviços que não são ofertados nessa instituição. O entrevistado também sugeriu que os usuários pudessem apontar uma segunda instituição em seu relato de espera (R4), sendo particularmente necessário, por exemplo, quando além do hospital, o plano de saúde também precisa ser mencionado no relato feito pelo usuário.

Para enriquecer a coleta de requisitos, foram entrevistados outros dois profissionais. Um é um advogado, que foi escolhido com o objetivo de trazer informações

relevantes relacionadas aos direitos dos consumidores e prestadores de serviços. O outro é um especialista em publicidade, que poderia trazer sugestões para impulsionar a iniciativa.

A conversa com o especialista em publicidade foi muito frutífera. O especialista enfatizou a importância dessas histórias serem compartilhadas nas redes sociais (R5), e também o uso de técnicas de gamificação, como a criação da figura do prefeito de um local (R6). O entrevistado fez uma série de contribuições para reforçar que todos os dados coletados nas redes sociais deveriam ser verdadeiros. Entre eles, ela sugeriu que os perfis de usuários fossem verificados (R7) e que os relatos deveriam ter sua credibilidade validada por outros usuários pressionando um botão "curtir / discutir" (R8). Para fortalecer a interação entre pessoas, o entrevistado recomendou a criação de micro comunidades, onde as pessoas poderiam ser notificadas de relatos enviados por usuários com base em suas áreas de interesse e alcance geográfico (R9). Finalmente, o entrevistado recomendou a criação de recursos que permitam o uso desta informação para o monitoramento de marcas e também para a realização de tarefas de natureza jornalística (R10). Uma boa referência para este propósito é a detecção de "*trending topics*" do aplicativo, capaz de retornar informações de locais que estão recebendo um número significativo de relatos de espera em um curto intervalo de tempo.

Na sequência, realizou-se uma entrevista com um advogado. O objetivo desta discussão foi trazer um ponto de vista legal, relacionado aos direitos e deveres dos consumidores e gerentes de propriedades. No entanto, durante a conversa, também foi percebida uma indignação pessoal por parte do entrevistado sobre o assunto. O relato mostrou que o advogado também está enfrentando questões relacionadas com o alto tempo de espera com os transportes públicos, nos cafés e até mesmo nos tribunais, ao tentar obter informações sobre os processos. O entrevistado informou que o longo atraso ocorre frequentemente devido à falta de organização no tribunal, o que significa que os funcionários têm problemas para encontrar um processo específico. Por esta razão, as salas de espera geralmente estão superlotadas, agravando ainda mais o problema de espera.

Do ponto de vista jurídico, o advogado afirmou que não há legislação federal sobre o assunto. E que sem esse marco regulatório, os gerentes de estabelecimentos nunca farão esse tipo de monitoramento, reforçando a tese proposta em (OLIVEIRA et al., 2015a), que defende a responsabilidade da própria sociedade civil para implementar uma iniciativa que lida com esse problema. Alguns requisitos importantes podem ser extraídos

dessa conversa: o entrevistado sugeriu que o aplicativo poderia oferecer uma maneira simplificada de divulgar os direitos do consumidor, de acordo com o local visitado (R11), para auxiliar os cidadãos na cobrança para o cumprimento de seus direitos. Além disso, o advogado acrescentou que o gerente da propriedade que recebeu algum relatório de espera deva ter o direito de fazer réplicas (R12). É possível que a propriedade tenha uma justificativa plausível para o problema, ou mesmo queira dar alguma satisfação ao consumidor. Os consumidores devem ser capazes de fazer um relato retrospectivo (R13). O entrevistado também sugeriu que fosse exibida a porcentagem de relatos que foram atendidos pela propriedade como forma de encorajar a participação dos responsáveis pelos estabelecimentos na plataforma, dando visibilidade àqueles que adotam boas práticas de diálogo com seus clientes e usando essas informações para determinar a reputação de uma empresa (R14). Finalmente, outra sugestão é que o usuário poderia fazer uma reclamação pública ou uma reclamação privada para a propriedade, na qual apenas as duas partes poderiam ter acesso ao seu conteúdo (R15). Este último requisito foi incluído porque o entrevistado mencionou situações em que os consumidores podem não querer divulgar sua experiência devido a algum embaraço social.

Especialistas em informática também foram ouvidos, incluindo o autor deste texto. Os seguintes requisitos podem ser reunidos: os dados armazenados dos relatos devem ser suficientes para produzir estatísticas, como o tempo de espera mínimo, máximo e médio (R16); O usuário deve poder selecionar o local a partir de uma lista de locais próximos (R17); O sistema deve ser capaz de inferir as possíveis filas através dos metadados disponíveis (R18); O usuário deve ser capaz de registrar novos estabelecimentos e filas no sistema (R19); O usuário deve ter acesso a todas as informações relacionadas aos relatórios enviados (R20); Os dados produzidos pela aplicação devem estar disponíveis em um formato aberto acessível por outros sistemas em linguagens compreensíveis pela máquina (R21).

Também reunimos requisitos das ferramentas estudadas na revisão da literatura. Um dos requisitos mais importantes é a detecção automática de espera (R22), originalmente proposto em (BULUT et al., 2012). Outro requisito importante foi a possibilidade de permitir que o proprietário localize, por exemplo, clientes que esperaram por mais de 10 minutos e podendo assim aplicar alguma medida de compensação (R23), como brindes ou descontos (OKOSHI et al., 2015).

Avaliação dos requisitos obtidos

Foi realizada uma pesquisa para obter confirmação de um grupo mais amplo de pessoas em relação aos requisitos levantados durante o processo de entrevistas. Nesta pesquisa, vinte e três requisitos foram apresentados através de um formulário web bastante amigável. Para cada uma das questões, foi exibido o título do requisito e, quando necessário, uma descrição mais detalhada com informações adicionais, além do contexto em que se aplica para facilitar a compreensão do participante.

A pesquisa foi divulgada através de mensagens de e-mail, WhatsApp e redes sociais. O público alvo foi composto por pesquisadores, profissionais e contatos pessoais do autor. Não foi aplicada qualquer segmentação específica do público-alvo, seja por gênero, idade, renda ou grau de instrução. No entanto, devido aos meios de divulgação utilizados, o público-alvo tende a ser composto por pessoas que usam computadores pessoais e smartphones com frequência.

Ao término do prazo de respostas, foram recebidas oitenta e duas respostas, os participantes usaram computadores pessoais, tablets e smartphones para enviar suas contribuições. A taxa de retenção foi de 66%, em média, de acessos feitos por meio de computadores pessoais, 57% responderam às questões, contra 71% considerando os acessos provenientes de dispositivos móveis.

O tempo de resposta médio ao formulário foi de aproximadamente 7 minutos mostrando que cada usuário gastou em média cerca de 18 segundos para cada pergunta. Todas as pessoas responderam voluntariamente ao questionário e nenhum tipo de benefício foi oferecido aos participantes. O único argumento de convencimento utilizado foi que, respondendo a essas perguntas, os participantes fariam parte de um processo colaborativo de desenvolvimento e estariam contribuindo para o amadurecimento de uma solução que abordasse o problema de monitorar o tempo de espera gasto para a provisão de serviços.

Para cada uma das perguntas feitas pelos usuários sobre os requisitos, os participantes poderiam avaliar os itens com uma pontuação, num intervalo de 1-5 para o nível de importância desse aspecto na solução como um todo. Para facilitar a compreensão, foi feita uma descrição para cada um dos níveis, a saber: 1) desnecessário; 2) opcional; 3) necessário; 4) muito importante e 5) essencial.

Antes de os resultados serem analisados, um processo de triagem foi conduzido para remover contribuições indesejadas dos participantes. Para tanto, foram eliminadas as contribuições que preencheram pelo menos um dos seguintes critérios de exclusão:

1. tempo total de resposta às questões inferior a 3 min;
2. uso mínimo de três classificações diferentes, considerando todas as questões; e
3. mínimo de 75% das perguntas respondidas.

Após o processo de triagem, 13% das respostas foram eliminadas por satisfazer pelo menos um dos critérios de exclusão. As principais razões para não contribuir, expressas por alguns usuários contatados, incluíram a preferência por não responder qualitativamente ao não conhecer muito bem o contexto geral da proposta, ou por considerar o questionário muito extenso. Minha constatação é que, devido à sobrecarga de mensagens e solicitações que as pessoas recebem todos os dias, algumas pessoas não foram suficientemente motivadas para investir o tempo necessário para a devida dedicação às questões.

Considerando apenas as respostas que não atendem a nenhum dos critérios de exclusão, vejamos os resultados. Conforme apoiado por (JAMIESON, 2004), as metodologias que empregam dados ordinais devem funcionar com o valor modal (mediana) como medida da tendência central, pois as manipulações aritméticas necessárias para calcular a média (e o desvio padrão) são inadequadas para os valores ordinais, que representam declarações orais. Assim, optamos por calcular o valor mais frequente respondido pelos usuários para cada requisito. Os resultados podem ser vistos na tabela abaixo.

Resultado da avaliação dos requisitos

Categoria	Requisito	Resultado
Acesso a informação	Lista com descrições dos serviços oferecidos pelo estabelecimento (R3)	essencial
	Compartilhamento do relato nas redes sociais (R5)	necessário
	Criação de micro comunidades onde as pessoas possam ser notificadas de relatos em áreas de seu interesse baseado em posição geográfica (R9)	muito importante
	Monitoramento de marcas, como tópicos de tendência (R10)	necessário
	Exibição dos direitos do consumidor em um formato simplificado, de acordo com o local visitado (R11)	essencial
	Os dados coletados devem ser suficientes para produzir estatísticas, como tempo de espera médio, máximo e mínimo (R16)	essencial
	O usuário deve ter acesso a todas as informações relacionadas aos seus relatos enviados (R20)	essencial
	Os dados produzidos pelo aplicativo devem estar disponíveis em um formato aberto, acessível por outros sistemas em linguagens compreensíveis por máquinas (R21)	necessário
Avaliação do tempo de espera	Enviar sugestões de melhorias em um relato de espera (R1)	essencial
	Avaliar a satisfação com o tempo de espera com as notas de 1 a 5 (R2)	essencial
Conveniência	Enviar um relato retroativo (R13)	necessário
	Selecionar um estabelecimento a partir de uma lista de locais próximos (R17)	essencial
	Inferir filas existentes através de metadados disponíveis do estabelecimento (R18)	essencial

	O usuário deve poder registrar novos estabelecimentos e filas no sistema (R19)	essencial
	Deteção automática de espera em uma fila (R22)	essencial
Incentivos	Permitir ao gerente do estabelecimento localizar clientes que enfrentaram atrasos no atendimento com o intuito de propor medidas compensatórias (R23)	essencial
	Criar a figura do prefeito do estabelecimento, um título dado ao usuário que enviou o maior número de relatos de espera relacionados à propriedade (R6)	opcional
	Exibir a porcentagem de relatos que foram atendidos pela propriedade como forma de encorajar a participação de gerentes e proprietários de estabelecimentos na plataforma (R14)	essencial
Integridade dos dados	Verificação do perfil durante o procedimento de registro para melhorar a confiabilidade do cadastro de usuários (R7)	essencial
	Criação dos botões "Gostei" e "Não gostei" para o relato de espera. Se o usuário clicar em "Não gostei", uma caixa de diálogo é aberta perguntando se o usuário quer fazer uma denúncia (R8)	muito importante
Justiça	Permitir que o usuário cite duas ou mais instituições em um relato (R4)	muito importante
	Permita que o gerente da propriedade citada em um relato faça réplica (R12)	essencial
Privacidade	Permitir que o usuário escolha se seu relato deve público ou privado, visível apenas pelo autor e destinatários do relato (R15)	essencial

A tabela acima mostra a categoria em que o requisito foi classificado, a descrição do requisito e o resultado obtido na pesquisa acima mencionada. A pesquisa valida a maioria dos requisitos obtidos durante as entrevistas: 18 requisitos foram classificados como muito importantes ou essenciais, o que corresponde a 78% do total. Quatro requisitos foram classificados como necessários; apenas um requisito foi classificado como opcional e nenhum foi classificado como desnecessário. O resultado foi gratificante para o autor, porque mostrou que o trabalho em andamento está em progresso e na direção correta para ter uma boa aceitação pública uma vez que a implementação de tais requisitos seja concluída.