



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO- ICOMP
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA - PPGI

Modelo de mobilidade realista para uma rede oportunista de um campus universitário

Arlinton Jose Lima Coutinho

Manaus - AM
Fevereiro - 2022

Arlinton Jose Lima Coutinho

Modelo de mobilidade realista para uma rede
oportunista de um campus universitário

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática do Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientador

Edjair de Souza Mota, Dr.-Ing.

Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Instituto de Computação- IComp

Manaus - AM

Fevereiro - 2022

Ficha Catalográfica

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

C871m Coutinho, Arlinton Jose Lima
Modelo de mobilidade realista para uma rede oportunista de um
campus universitário / Arlinton Jose Lima Coutinho . 2022
64 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Edjair de Souza Mota
Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Mobilidade Humana. 2. Geração Sintética de Movimentos. 3.
Redes Oportunistas. 4. Mobilidade. I. Mota, Edjair de Souza. II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título



PODER EXECUTIVO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

"Modelo de mobilidade realista para uma rede oportunista de um campus universitário"

ARLINTON JOSÉ LIMA COUTINHO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Professores:

Edjair de Souza Mota

Prof. Edjair de Souza Mota - PRESIDENTE

Camilo B. Souza

Prof. Camilo Batista Souza - MEMBRO EXTERNO

Celso Barbosa Carvalho

Prof. Celso Barbosa Carvalho - MEMBRO EXTERNO

Manaus, 26 de Fevereiro de 2022

Modelo de mobilidade realista para uma rede oportunista de um campus universitário

Autor: Arlinton Jose Lima Coutinho

Orientador: Edjair de Souza Mota, Dr.-Ing.

Resumo

Um modelo de mobilidade apresenta em forma de sistema uma representação de trajetórias de usuários. Este trabalho visa uma metodologia que mostra que os hábitos de movimentação das pessoas foram utilizados para criação de um modelo sintético, a partir do qual, pode-se simular a mobilidade humana com características do ambiente/cenário representado. *Palavras-chave:* Mobilidade Humana, Geração Sintética de Movimentos, Redes Oportunistas.

Modelo de mobilidade realista para uma rede oportunista de um campus universitário

Autor: Arlinton Jose Lima Coutinho

Orientador: Edjair de Souza Mota, Dr.-Ing.

Abstract

A mobility model presents a representation of user trajectories in the form of a system. This work aims to present a methodology that shows that people's movement habits were used to create a synthetic mobility model, from which human mobility can be simulated, and this mobility has characteristics of the environment/scenario represented. *Keywords:* Human Mobility, Synthetic Generation of Movements, Opportunist Networks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Padrão de deslocamento do Modelo Mobilidade Random Walk . . .	16
Figura 2 – Padrão de deslocamento do Modelo Mobilidade Random Waypoint	17
Figura 3 – Padrão de deslocamento do Modelo Mobilidade Random Direction .	18
Figura 4 – Padrão de deslocamento do Modelo Recurrent Self-Similar Gauss–Markov	18
Figura 5 – Propriedades da Mobilidade Humana – Adaptado de (KARAMSHUK et al., 2011)	23
Figura 6 – Construção de um modelo de mobilidade - Adaptado de (KARAMSHUK et al., 2011)	24
Figura 7 – Diagrama de Voronoi para três pontos em um plano.	27
Figura 8 – Representação esquemática das atividades desenvolvidas	31
Figura 9 – Waypoints e hotspots em um mapa	33
Figura 10 – Diagrama Proximo Salto	36
Figura 11 – Taxa de entrega	42
Figura 12 – Atraso Médio Entrega	43
Figura 13 – Sobrecarga	44
Figura 14 – Trace Sintético	45
Figura 15 – Trace UFAM	46
Figura 16 – tela do aplicativo de coleta	54
Figura 17 – Poster	55
Figura 18 – Site do Aplicativo	56
Figura 19 – Site do Aplicativo	56
Figura 20 – Site do Aplicativo	57

Figura 21 – Site do Aplicativo	57
Figura 22 – Comitê de Ética Pag 01	58
Figura 23 – Comitê de Ética Pag 02	59
Figura 24 – Comitê de Ética Pag 03	60
Figura 25 – Comitê de Ética Pag 04	61
Figura 26 – Comitê de Ética Pag 05	62
Figura 27 – Comitê de Ética Pag 06	63
Figura 28 – Email para Lista	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DTN *Delay Tolerant Networks*

GeSoMo *General Social Mobility Model*

GRCM *Grupo de Redes de Computadores e Multimídia*

IComp *Instituto de Computação*

MANET *Mobile Ad Hoc Networks*

RD *Random Direction Mobility*

RSSGM *Recurrent Self-Similar Gauss–Markov Mobility*

RW *Random Walk Mobility Model*

RWP *Random Way Point Mobility Model*

SMOOTH *Smooth Random Mobility Model*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Motivação	11
1.2	Objetivos	12
1.3	Contribuições	13
1.4	Organização do trabalho	13
2	CONCEITOS E TRABALHOS RELACIONADOS	14
2.1	Mobilidade humana	14
2.2	Modelos de mobilidade	15
2.3	Coleta de dados	20
2.4	Propriedades Estatísticas	22
2.5	Modelos de mobilidade sintético	24
3	METODOLOGIA	30
3.1	Utilização de arquivo de trace	30
3.2	Identificação das pausas	33
3.3	Identificação dos waypoints	33
3.4	Identificação dos hotspots	34
3.5	Tabela de frequência relativa dos waypoints	35
3.6	Próximo salto para cada nó	35
3.7	Deslocamento dos nós	36
3.8	Um aplicativo de coleta	37
4	PROJETO DE EXPERIMENTOS	39
4.1	Planejamento de Experimentos	39
4.2	Rede Oportunista	39

4.3	Avaliação de desempenho	40
4.4	Caracterização do cenário	41
4.5	Resultados Experimentais	42
4.6	Comparação Entre Modelos	45
5	CONCLUSÕES	47
5.1	Trabalhos futuros	48
	Referências	49
6	ANEXOS	53
6.1	Divulgação do Projeto de Coleta	53
6.2	Parecer do Comitê de Ética	53
6.3	Email enviado para Lista ICOMP	54

1

INTRODUÇÃO

Entender a mobilidade humana é essencial para controle de epidemias, planejamento urbano, previsão de tráfego e projeto de aplicações em redes móveis sem fio (ZHAO et al., 2015). Redes oportunistas são redes sem fio pervasivas, baseadas na comunicação direta entre dispositivos móveis. Neste tipo de rede, não é importante saber *a priori* a topologia da rede. Não há nenhuma suposição de que existe um caminho completo entre dois nós que querem se comunicar (PELUSI; PASSARELLA; CONTI, 2006). Na realidade, pode até nunca haver conexão entre os dois nós, mesmo assim as mensagens podem ser enviadas para nós intermediários que as retêm até que uma nova oportunidade de contato surja, possibilitando que a mensagem seja repassada adiante até, eventualmente, chegar ao seu destino. O preço dessa forma de comunicação é a latência para a efetivação da entrega. No entanto, há um número considerável de situações onde essa tolerância é aceitável. O caso clássico é o sistema de correio eletrônico (e-mail).

Dispositivos móveis possuem restrições de energia e podem desconectar-se facilmente da rede, gerando descontinuidade na comunicação. Comumente, essa descontinuidade resulta em particionamento da rede, criando ilhas de nós que temporariamente não se alcançam. Redes oportunistas são resilientes ao particionamento das redes, oferecendo possibilidades de reconfiguração dinâmica, tornando-as adequadas para situações de desastres, ambientes rurais e promissoras para cenários com bastante mobilidade.

Embora produzindo desconexões, a mobilidade, deixa de ser uma vilã e torna-se aliada, pois usuários móveis deslocando-se entre as ilhas particionadas de nós, criando

a possibilidade de reestabelecimento da comunicação ao carregar consigo agregados de pacotes (*bundles*) que são entregues aos nós de outras ilhas durante uma aproximação mais duradoura (contato). Na ocorrência de um contato, os *bundles* são transferidos segundo as condições do enlace e da duração da conexão entre os nós. A ocorrência de um contato pode ser de longa duração, podendo chegar a alguns dias e depende diretamente da mobilidade dos nós na rede (NETO, 2011). Esse conceito foi herdado das redes tolerantes a atrasos e desconexões (DTN – *Delay Tolerant Networks*), porém em DTN os locais e tempos de possíveis conexões e desconexões são desconhecidos.

1.1 Motivação

A maior parte das pesquisas em redes oportunistas tem se concentrado no problema crucial de roteamento da mensagem e as diferentes maneiras de repassar as mensagens de acordo com as condições do canal, disponibilidade de *buffers* e duração do contato. De acordo com (MUSOLESI; MASCOLO, 2009), os serviços de comunicação que se baseiam nesse tipo de transferência de dados dependem completamente das características de mobilidade humana e quão frequentemente ocorrem essas oportunidades de transferências. Portanto, o padrão de mobilidade dos nós é uma característica que influencia diretamente o desempenho da rede oportunista (LIMA, 2013).

Os nós de uma rede oportunista podem ser pessoas, carros, ônibus, animais, etc. Neste trabalho, redes oportunistas são formadas por usuários que levam consigo um *smartphone*. O alvo desta pesquisa é a compreensão da mobilidade desses usuários em uma área de um campus universitário, que se comunicam de uma forma oportunista. A modelagem dos movimentos dos usuários ao longo do tempo permite a proposição de novos serviços, cujo desempenho e alternativas de projeto podem ser avaliados utilizando-se simulações estocásticas (PAPADOPOULI; SCHULZRINNE, 2001).

Há dois tipos de modelos de mobilidade: modelos sintéticos e modelos baseados em arquivos de *trace*. *Traces* são registros obtidos através de medições em uma implementação real ou em uma rede experimental (*testbed*). À medida que o usuário se desloca, um aplicativo pode registrar detalhes de seus movimentos incluindo, dentre

outros, posição, data, hora, nível de bateria, etc. Modelos baseados em *trace* são mais realistas, pois descrevem o que, de fato, ocorreu. No entanto, arquivos de *trace* são finitos e a qualidade dos resultados de suas análises está restrita àqueles dados coletados, sem nenhuma variação. Uma consequência imediata é que a qualidade estatística dos resultados pode ficar comprometida se o *trace* não for grande o suficiente.

Uma alternativa para contornar essas dificuldades é a criação de um modelo sintético (SCHWAMBORN; ASCHENBRUCK; MARTINI, 2010) e (MUSOLESI; MASCOLO, 2006). Modelos sintéticos são modelos matemáticos, que descrevem a movimentação dos usuários. Uma vez definidas suas posições iniciais, cada usuário pode permanecer onde está, caso esteja entre conhecidos ou executando alguma atividade que a mobilidade pode impactar negativamente, ou ele decide que direção tomar, em que velocidade vai se deslocar, quantos metros irá andar. Outras decisões podem surgir, tais como mudança de direção ou velocidade, fazer uma pausa, etc. Cada uma dessas decisões pode ser modelada matematicamente tomando-se como parâmetro um arquivo de *traces*, além de poderem se estender enquanto for necessário.

Em face dessas considerações, optamos pela criação de um modelo sintético por entendermos que, embora seja mais complexo de ser obtido, pode nos permitir flexibilidade e acurácia na investigação de questões de pesquisa em redes oportunistas.

1.2 Objetivos

Este trabalho apresenta o projeto, implementação e validação de um modelo de mobilidade sintético que descreve o movimento dos usuários de *smartphones* em um campus universitário. A partir de arquivos de *trace* coletados em um campus universitário, os movimentos são criteriosamente modelados a fim de imitar o mundo real. Em outras palavras, os movimentos devem ser os mais realistas possíveis, com usuários deslocando-se com velocidades similares àquelas no mundo real, caminhando por vias dedicadas às pessoas, fazendo pausas típicas do cenário analisado, e assim por diante. O Grupo de Redes de Computadores e Multimídia, do Instituto de Computação da UFAM (GRCM/IComp), desenvolveu um aplicativo Android para o projeto de coleta

de dados em um ambiente universitário (Anexo 6). A fim de aumentar o grau de realismo, de acordo com o grupo de experimentação avaliado, o modelo proposto detecta as localidades mais visitadas, aqui chamadas de *hotspots*, que passam a ser tomados como referência no instante da escolha de um caminho. Para efeito de validação, foram executadas simulações com modelo de mobilidade baseado no *trace* de mobilidade e simulações baseadas no modelo de mobilidade sintético obtido.

1.3 Contribuições

As contribuições deste trabalho podem ser aplicadas em ambientes similares onde estão disponíveis *traces* coletados por um tempo estatisticamente relevante:

- Geração de um mapa contendo caminhos mais frequentes dos usuários (*waypoints*)
- Escolha de caminhos efetuada por cada nó ponderada por um ranking dos *waypoints*.
- Utilizar uma heurística para identificação de *hotspots*.
- Seleção da velocidade de deslocamento de um nó usando uma função de distribuição estatística lognormal.
- Seleção do tempo de pausa de um nó usando uma função de distribuição estatística power law.

1.4 Organização do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma: Capítulo 1 apresenta o assunto, motivação e os objetivos a serem alcançados. Capítulo 2 mostra o estado da arte, os conceitos relacionados a modelos de mobilidade realísticos. Capítulo 3 apresenta os principais algoritmos para modelos de mobilidade e a arquitetura utilizada para sua implementação.

2

CONCEITOS E TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos, arquiteturas e aplicações teóricas que embasaram a elaboração deste trabalho.

2.1 Mobilidade humana

A ciência do estudo do movimento é um vasto campo de pesquisa aplicado, por exemplo, nas áreas biológicas, no estudo da mobilidade urbana, trânsito, estudo de disseminação de epidemias, e em computação da mobilidade de dispositivos móveis. Durante as últimas duas décadas, houve um aumento no uso de aplicações sem fio, proporcionado por aparelhos celulares, aparecimento de novas tecnologias sem fio desde 3G, 4G e 5G (brevemente disponível). Para que tais tecnologias sejam continuamente aprimoradas, são necessárias técnicas que possibilitem criar, testar e analisar novos protocolos e aplicações. As técnicas mais utilizadas para essa finalidade são a experimentação no mundo real através do uso de equipamentos físicos (custoso financeiramente), emuladores e simuladores de redes sem fio. Simuladores necessitam de algoritmos com forte base estatística, de maneira a replicar o movimento de pessoas e seus dispositivos em uma dada localidade.

De uma maneira geral, um modelo de mobilidade é a disposição temporal de um objeto móvel em um plano ou mapa e regras que dirigem suas trajetórias. Suponha

o comportamento de uma pessoa em um campus universitário: entrar e sair de salas (movimento), parar em um departamento (tempo de parada e localização espacial fixa), conversar com outras pessoas (interação social). Tais comportamentos podem ser descritos e analisados de forma individual ou coletiva.

Redes móveis sem fio oferecem uma gama de aplicações de grande interesse da sociedade. Podemos citar como exemplos o planejamento da mobilidade dentro de uma cidade, a previsão da proliferação de vírus, a localização de veículos, dimensionamento de infraestrutura de comunicação e, mais recentemente, sistemas de comunicação sem fio sem uma infraestrutura física de telecomunicações. Um elemento chave em todas essas aplicações é a habilidade de prever os movimentos dos elementos móveis (SONG et al., 2010b).

Há diversos estudos na literatura que demonstram o impacto da mobilidade em redes móveis ad hoc (MANETs) e em redes de sensores sem fio, incluindo o aumento da capacidade, a melhoria na segurança, a melhoria na conectividade dos agrupamentos (*clustering*, o aperfeiçoamento na questão do monitoramento (*sensing*) (WANG; AKYILDIZ, 2010). Além disso, a mobilidade desempenha um papel essencial na determinação das propriedades temporais do tráfego da rede, afetando diretamente o projeto de controle e escalonamento de recursos para a rede. No caso específico de redes oportunistas, cuja dependência de contatos é crítico para o fluxo de dados, o papel da mobilidade fica ainda mais ressaltado.

2.2 Modelos de mobilidade

Os pesquisadores têm buscado ao longo dos anos descrever modelos de mobilidade humana utilizando-se da teoria de processos estocásticos. O modelo *Levy-Walk*, por exemplo, tem despertado interesse nesses estudos por possuir semelhanças estatísticas com o movimento de animais e de seres humanos. Movimentos aleatórios baseados no *Levy-Walk* são caracterizados pela maioria de movimentos curtos combinados com raros movimentos longos (SANTOS; MORAES, 2008). Rhee e colegas (RHEE et al., 2011) validaram experimentalmente essa teoria ao analisarem 1.000 horas de *traces* de GPS

envolvendo 44 voluntários na área externa de um campus universitário, em uma área metropolitana, em um parque temático e em uma feira livre.

No modelo simples conhecido como *Random Walk* (RW) (WOOLARD, 1928) (NAIN et al., 2005), um elemento móvel em uma área retangular, desloca-se de sua posição atual para uma outra posição escolhida aleatoriamente selecionando um ângulo de giro entre $[0, 2\pi]$. A velocidade de deslocamento é selecionada de uma maneira uniforme entre $[V_{min}, V_{max}]$ e cada trajeto ou possui uma extensão constante ou é percorrido em um intervalo de tempo constante. Assim que alcança o destino, uma nova direção e velocidades são selecionadas (CAMP; BOLENG; DAVIES, 2002). O tempo de pausa é zero. A Figura 1 ilustra o funcionamento desse modelo.

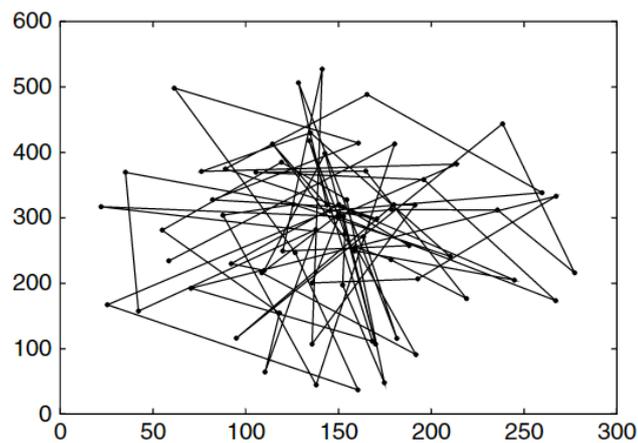


Figura 1 – Padrão de deslocamento do Modelo Mobilidade Random Walk

Um dos modelos de mobilidade mais utilizados na simulação de rede móveis ad hoc, o *Random Waypoint* (JOHNSON; MALTZ, 1996) (*RWP*), considera que os nós espalhados em uma grande área movem-se a uma velocidade uniformemente distribuída entre $[0, V_{max}]$ após escolher uma direção. A pausa entre trajetos é diferente de zero. No entanto, Yoon e colegas (YOON; LIU; NOBLE, 2003) mostraram que este modelo falha, pois a velocidade média dos nós decresce com o tempo, gerando resultados não confiáveis.

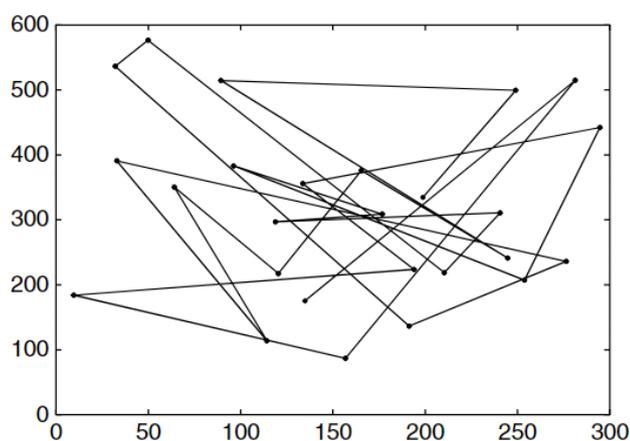


Figura 2 – Padrão de deslocamento do Modelo Mobilidade Random Waypoint

Bettstetter (BETTSTETTER, 2001) propôs o modelo *Random Direction* (*RD*). Os usuários podem se mover livremente em uma área selecionada. Se o usuário não tiver uma preferência, a direção que ele irá tomar é extraída de uma distribuição uniforme no intervalo entre $[0, 2\pi]$. Os valores das velocidades seguem uma distribuição uniforme ou uma distribuição normal. Em intervalos de tempo escolhido aleatoriamente de uma distribuição exponencial, o usuário escolhe uma nova direção. O mesmo procedimento é feito para as mudanças de velocidade. Os processos estocásticos para direção e velocidade, em geral, não possuem correlação.

Alenazi e colegas (ALENAZI et al., 2020) apresentam um modelo de mobilidade denominado Modelo de Mobilidade Recorrente Auto-similar "Gauss-Markov", no qual os usuários móveis tem seu comportamento regido por cenários, com graus de aleatoriedade variados. O modelo de mobilidade *RSSGM* foi proposto para aplicações onde nós móveis exibem visitas recorrentes a lugares de atração e, adicionalmente, o modelo dispõe de flexibilidade de ajuste do grau de aleatoriedade. A proposta reproduz:

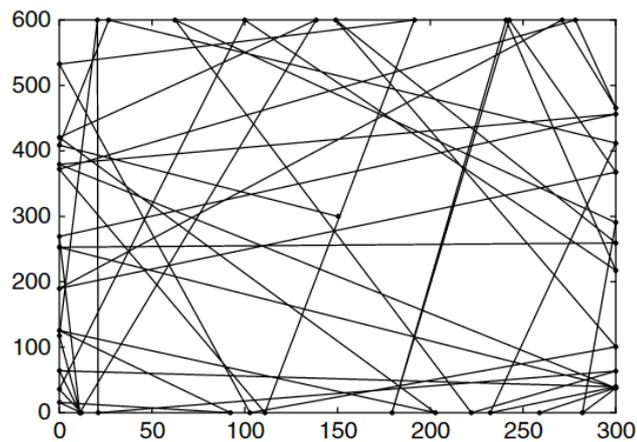


Figura 3 – Padrão de deslocamento do Modelo Mobilidade Random Direction

- i. visitas recorrentes a locais selecionados com rotas semelhantes;
- ii. captura o comportamento aleatório do modelo Gauss-Markov;
- iii. padrões recorrentes de viagens de usuários com nós escolhidos;
- iv. movimento auto-similar que reproduz o movimento humano.

Os autores apresentam a avaliação do seu desempenho em diferentes cenários. Uma comparação com outros modelos de mobilidade (por exemplo, GM, RWP, e direção aleatória RD também são discutidos.

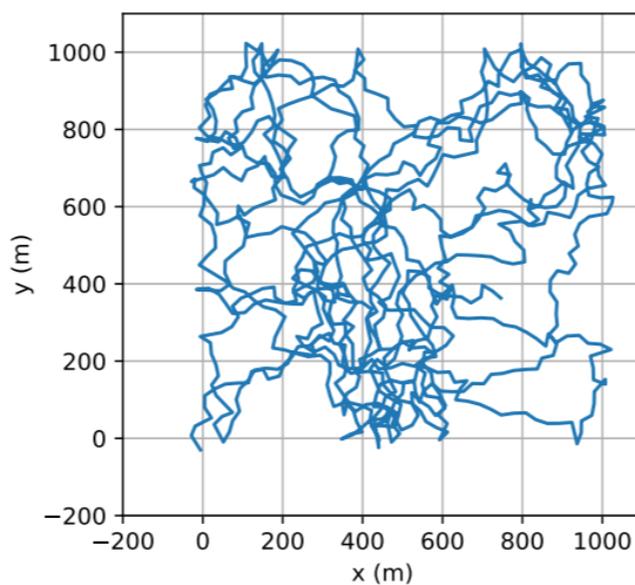


Figura 4 – Padrão de deslocamento do Modelo Recurrent Self-Similar Gauss-Markov

Em (HEINEMANN; KANGASHARJU; MUHLHAUSER, 2008), Heinemann e colegas apresentam um conceito denominado *Information sprinklers*, que são nós físicos fixos conectados a um *backbone*, bem como conectados a nós móveis, e que funcionam como disseminadores de informação entre os objetos móveis. Para implementação no nível de micro mobilidade, o modelo, utilizou-se de três modelos de mobilidades: *RWP - Random Walk*, *Gauss-Markov* e *Manhattan Grid*. a implementação combinou dados realistas de mobilidade de usuário com modelos de mobilidade sintética.

No primeiro passo, foram utilizados dados (*trace*) do mundo real advindos do Projeto *Reality Mining*, para obter um modelo realista ao nível macro dos usuários. Na segunda etapa, foi utilizado modelos de mobilidade sintética para modelar os usuários em nível de micro movimentos. A abordagem em duas fases tenta remediar problemas encontrados em modelos de mobilidade puramente sintéticos. A combinação de *trace* em granularidade grossa de usuários, com modelos de mobilidade sintética no nível micro, permite explorar várias gamas de comunicação e movimentos de usuários, enquanto as simulações baseadas em *traces* puros de usuários estão vinculadas a tecnologia utilizada. Por exemplo, os arquivos de *trace* de usuários, recolhidos de dispositivos *Bluetooth*, não são adequados para investigar *Wi-fi* como um padrão de comportamento em comunicação. Os autores, demonstram que os movimentos de usuários realistas advindos de arquivos de *trace* se encontrem de uma maneira que, viabilizam a construção de um sistema oportunista de disseminação de dados.

É possível que os seres humanos possam descrever padrões de movimento completamente aleatórios ou erráticos, porém não é difícil detectar rotinas em suas vidas pessoais. Então, para os propósitos desta pesquisa, uma estratégia para a reprodutibilidade dos seus movimentos é reconhecer as estruturas sociais comuns de sua rotina. No cenário central desse estudo, uma área de convivência de um campus universitário, os estudantes costumam frequentar lugares comuns, seja para conversar, seja para se alimentar, ou comprar material em papelaria, ir ao banco, correio, etc. Nós vamos chamar cada um desses locais populares de *hostpot*. Os usuários também param em lugares menos populares, que chamaremos neste trabalho de *waypoint*.

O modelo de mobilidade sintético proposto neste trabalho assume que os usuá-

rios estão sempre caminhando entre *hostpots*, passando por alguns *waypoints* e, depois de um certo tempo, deixam a área do campus. O caminho que cada usuário percorre deve seguir os mesmos padrões daqueles encontrados no arquivo de *trace*, pois refletem a topologia dos prédios, as passagens naturais de pedestres, incluindo seus obstáculos.

2.3 Coleta de dados

Os dados usados na construção de um modelo de mobilidade são coletados de diferentes maneiras. Song e seus colegas (SONG et al., 2010b) capturaram durante um ano, de forma anônima, a trajetória de usuários de celulares. Cada vez que um usuário iniciava ou recebia uma ligação, a localização da estação-base que roteava a comunicação era registrada. Apesar do grande volume de informação gerado, essas informações são específicas para soluções de operadoras de telefonia móvel, trazendo grandes dificuldades para mapear a mobilidade humana e detalhes sobre suas atividades diárias (HASAN et al., 2013). A ausência de dados coletados de uma forma mais densa, contínua, também inibe a utilização de técnicas de aprendizado de máquina para a construção de modelos de mobilidade mais próximos da realidade.

A proliferação de dispositivos móveis mais modernos, com elevado poder de computação, sensores inteligentes, modernas tecnologias de transmissão sem fio, e o uso pervasivo de um sistema de localização global (GPS), permitiu realizar coletas mais ricas de dados individuais. Isso tudo resultou em um crescimento exponencial da criação de extensas bases de dados de movimento humano (BARBOSA et al., 2018). Os arquivos de *trace*, portanto, passaram a oferecer informações mais detalhadas, com menor granularidade de tempo.

Os *smartphones* são o instrumento ideal para construir essas bases de dados de mobilidade humana, pois são capazes de capturar um número crescente de informações sobre o ambiente em que o ser humano está inserido, graças ao crescimento vertiginoso da indústria de sensores (EAGLE et al., 2006) (SOLMAZ; TURGUT, 2015) (BACANLI; SOLMAZ; TURGUT, 2015).

Em (EAGLE et al., 2006), os autores exploraram as interfaces Bluetooth e GSM de

um celular para determinar a localização aproximada dos usuários. A interface Bluetooth é capaz de descobrir dispositivos próximos, que possuam o mesmo tipo de interface, e registrar informações mais detalhadas como endereço MAC, o nome do dispositivo, etc. Escanear continuamente tem um preço: o consumo de bateria. A solução encontrada foi aumentar o intervalo de medição. O estudo utilizava 100 aparelhos celulares, que geraram ao longo de um ano aproximadamente 450.000 horas de informação sobre o uso dos dispositivos.

Usando um conjunto de medições, Song e colegas (SONG et al., 2010a) introduziram dois princípios que governam as trajetórias humanas:

- i. dependência entre a posição atual e as localidades vizinhas;
- i. seres humanos costumam retornar a um local que já visitaram antes.

Com isso, demonstraram que as trajetórias humanas seguem leis que podem ser reproduzidas. Um resultado ainda mais surpreendente, eles demonstraram em (SONG et al., 2010b) que o movimento humano apresenta um grau de previsibilidade em torno de 93%. Esta afirmação pode ser facilmente verificada em um cenário de um campus universitário, onde alunos retornam frequentemente a certas salas de aula, laboratórios e bibliotecas, independentemente do aparente grau de aleatoriedade das trajetórias individuais.

A compreensão das características estatísticas e padrões do movimento humano foi drasticamente aperfeiçoada com o uso de novas tecnologias para obtenção de *traces* coletados do mundo real. Por exemplo, Gonzalez e colegas (GONZALEZ; HIDALGO; BARABASI, 2008) demonstraram que os trechos de uma trajetória de um ser humano tendem a seguir uma distribuição de power law truncada. Isso significa que as pessoas costumam andar por uma vizinhança, enquanto que outros com frequência tomam caminhos mais longos. Song e colegas (SONG et al., 2010b), por outro lado, concluíram que os movimentos humanos são altamente previsíveis.

No entanto, (KARAMSHUK et al., 2011) mostrou a necessidade de *traces* ainda mais detalhados. Por exemplo, a frequência de visitas a lugares populares, pois isso sinaliza a repetição de trajetos. O resultado de tal análise é uma descrição mais realista

dos movimentos humanos que pode ser utilizado na avaliação de projetos de redes oportunistas. Aproveitando dos recursos atuais de um *smartphone* Android, é possível construir um *trace* rico em informações como essas:

- latitude
- longitude
- data
- hora
- RSSI de redes de telefonia móvel
- RSSI de redes Wi-fi
- nível de bateria
- espaço em disco

2.4 Propriedades Estatísticas

Em geral, podemos classificar os avanços na modelagem de mobilidade em três grandes direções: espacial, temporal e social (KARAMSHUK et al., 2011). A Fig. 5 ilustra essas características.

As características espaciais dizem respeito à atitude dos usuários nos espaços físicos. Exemplo: giro angular para a escolha da próxima trajetória, extensão da trajetória, etc. As características temporais são propriedades da mobilidade humana que variam no tempo. Exemplo: tempo de pausa, tempo de visita a uma localidade, tempo de retorno a uma localidade, etc. As características de conectividade são decorrentes das interações entre usuários. Exemplo: instante do contato, intervalo de tempo entre contatos, etc.

Uma propriedade que pode ser capturada em um arquivo de *trace* de mobilidade humana é o reaparecimento regular no conjunto de locais preferenciais. A probabilidade de retornar a um lugar específico é correlacionada com sua frequência de visita. Essas características, junto com uma distribuição de probabilidade da extensão de cada

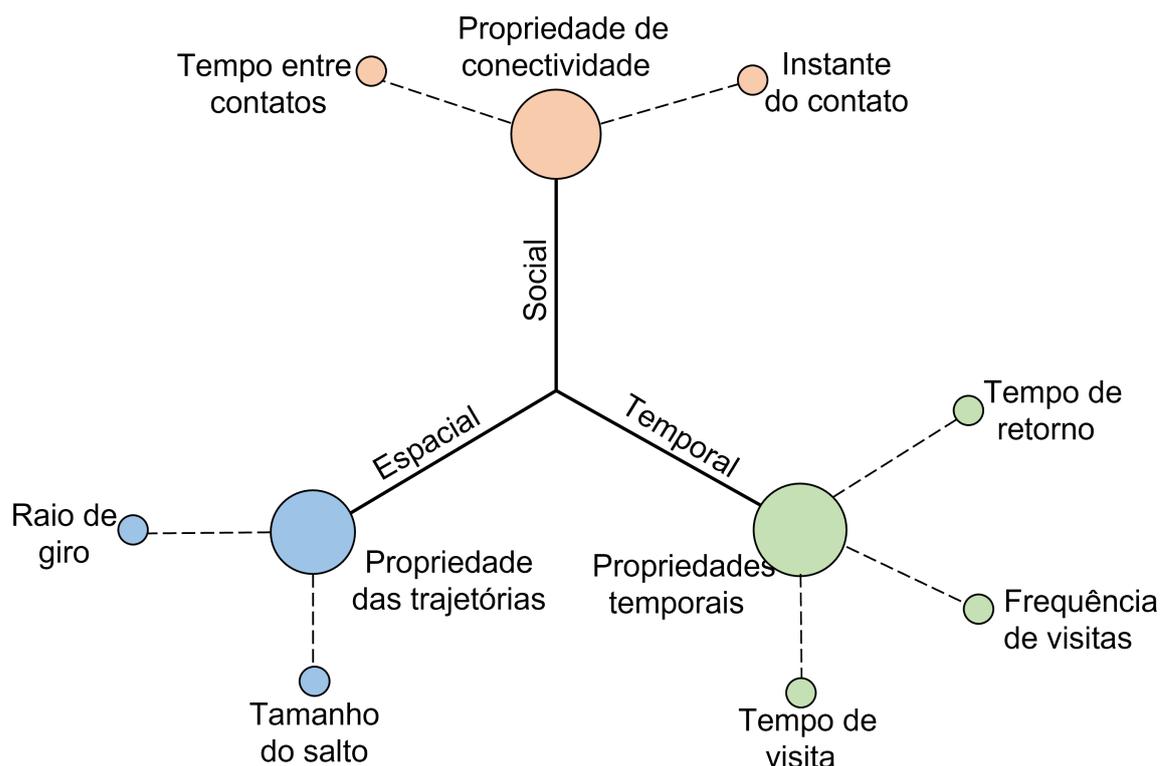


Figura 5 – Propriedades da Mobilidade Humana – Adaptado de (KARAMSHUK et al., 2011)

trecho do trajeto, distingue significativamente movimentos humanos dos movimentos aleatórios. Esta característica é um ponto de partida interessante para a construção do modelo de mobilidade proposto neste trabalho.

Na Figura 6, o processo de construção de um modelo de mobilidade inicia com a coleta de dados do mundo real utilizando GPS, dispositivos Bluetooth, registros de históricos de pontos de acesso de uma rede Wi-Fi, sensores de smartphones, ou uma rede de sensores sem fio com capacidade para transferir os dados coletados até o local de armazenamento, etc.

Esses dados coletados passam por filtros e análise para serem extraídas propriedades estatísticas da mobilidade, tais como escolha de trajetos, tempo e distância de deslocamento em cada trecho da trajetória, tempo de pausa, etc. Também podem ser identificados padrões de comportamentos tais como, mudança de direção, retornar a um lugar, etc. Esses conhecimentos permitem a construção de um modelo de mobilidade que replica o que aconteceu no intervalo de tempo que os dados foram coletados.

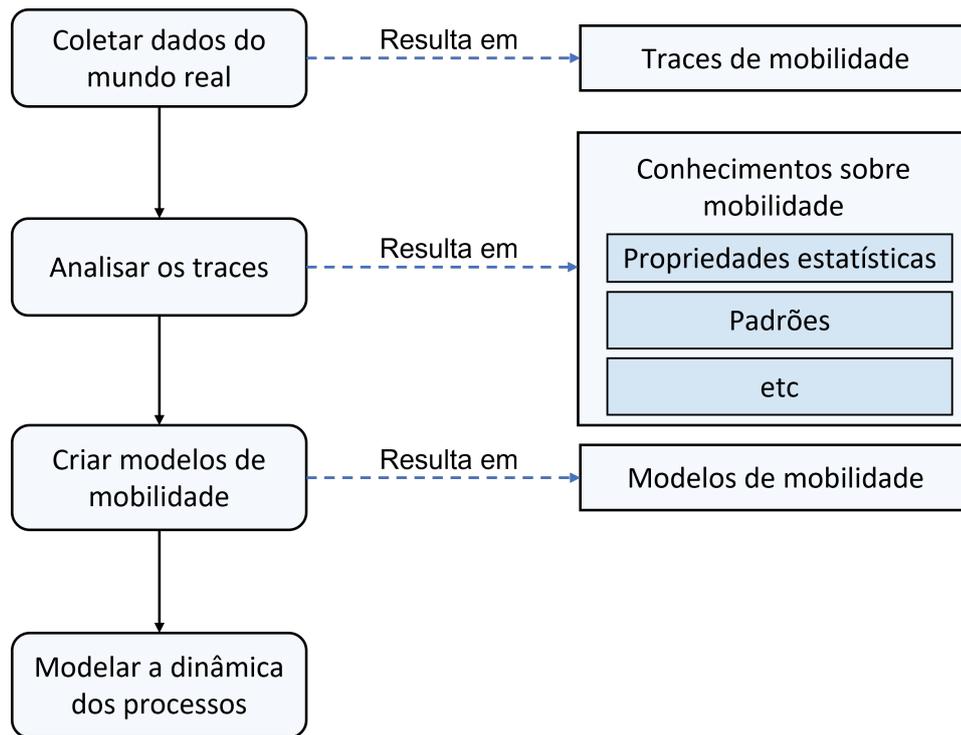


Figura 6 – Construção de um modelo de mobilidade - Adaptado de (KARAMSHUK et al., 2011)

2.5 Modelos de mobilidade sintético

Encontrar um modelo de mobilidade realista não é uma tarefa trivial. Os modelos *Random Walk*, *Random Waypoint*, *Random Direction* e *Gaus-Markov*, citados acima, são exemplos de modelos de mobilidade puramente sintéticos. Eles são baseados em suposições simples sobre os movimentos dos usuários, mas são computacionalmente eficientes. Na simulação de redes oportunistas, por outro lado, os movimentos dos nós são extraídos diretamente dos *traces* de mobilidade (simulação baseada em *trace*).

Um modelo de mobilidade sintético reproduz os movimentos encontrados nos *traces* de mobilidade, mas usando os padrões detectados. Por exemplo, para determinar a velocidade que um usuário vai se deslocar em um trecho é possível utilizar uma distribuição de probabilidade encontrada em estudos do comportamento humano (RIBEIRO; SOFIA; ZÚQUETE, 2011), estudos da Física (GONZALEZ; HIDALGO; BARABASI, 2008), Engenharia de Transporte (ZENG et al., 2014), dentre outras áreas do conhecimento. Os parâmetros dessa distribuição são obtidos dos dados coletados. Para tornar a nossa proposta mais realista, adicionamos a esses conhecimentos teóricos um

conjunto de heurísticas detalhadas na Capítulo 3.

Munjal, Camp e Navidi (MUNJAL; CAMP; NAVIDI, 2011) desenvolveram um modelo de mobilidade simples e realista chamado *SMOOTH*, que gera *trace* sinteticamente, mas que se aproxima do movimento humano real. O *SMOOTH* capturou sete características estatísticas observadas por pesquisadores relacionados com a movimentação de seres humanos, a saber:

1. Cada segmento de um trajeto segue uma distribuição de probabilidade *power law* truncada;
2. O tempo entre dois contatos sucessivos do mesmo par de nós segue uma distribuição de probabilidade *power law* truncada;
3. O tempo que um nó pausa segue uma distribuição de probabilidade *power law* truncada;
4. Os nós móveis costumam visitar localizações populares de uma determinada área geográfica;
5. De um modo geral, um nó móvel costuma visitar primeiro as localizações mais próximas de onde ele se encontra;
6. A distribuição dos nós móveis em uma área geográfica é não-uniforme;
7. Nós móveis com interesses comuns formam comunidades e tendem a mover-se entre as comunidades de interesse.

Adicionalmente, os trabalhos (FISCHER; HERRMANN; ROTHERMEL, 2010), (MUSOLESI; MASCOLO, 2007) apresentaram comportamentos semelhantes, com dados se aproximando das distribuições *power law* e *power law* truncada.

Alguns modelos de mobilidade consideram características espaciais com base em propriedades físicas do cenário estudado, como a localização espacial, pontos de atração e lugares com frequência de visitas elevadas. O trabalho apresentado por Bhandari e colegas (BHANDARI; LEE; CRESPI, 2010) apresenta como estrutura básica pontos de atração, locais que os usuários escolhem como destino, em vez de andar aleatoriamente.

Além disso, usuários andam em grupo, logo é razoável imaginar que mais nós de redes oportunistas encontram-se próximos aos pontos de atração mais populares. Em uma determinada área pré-selecionada, os usuários percorrem rotas específicas (não aleatórias) entre os pontos de atração.

O interesse por cada ponto de atração é assinalado utilizando-se uma variável aleatória entre 0 e 1. Os autores também adicionaram faixas de tráfego verticais e horizontais¹, cruzamento, movimentos de nós se aproximando de pontos de atração, faixas de tráfego com mudanças de comportamento do usuário e, finalmente, nós com algum grau de comportamento social ao se aproximar dos pontos de atração. As métricas de desempenho investigadas foram a taxa de entrega de pacotes e latência. Os resultados são comparados com o modelo *Random Waypoint*, para diferentes valores de velocidade e carga. Este modelo de mobilidade pode ser utilizado para simular um cenário realista, por considerar alguns fatores importantes: pontos de atração e uma área estruturada pré-definida (topologia).

O modelo apresentado por (MUNJAL; CAMP; NAVIDI, 2011) demonstra este comportamento espacial, observado em sua análise, com os nós móveis visitando localizações populares de uma determina área geográfica.

O modelo de mobilidade com obstáculos (OMM - *Obstacle Mobility Model*) (JAR-DOSH et al., 2003) inclui prédios e obstáculos interpostos como barreiras ao movimento, bem como à transmissão de sinais. Para representar a movimentação dos nós, é utilizada uma técnica conhecida como Diagrama de Voronoi² Intuitivamente, Diagrama de Voronoi pode ser relacionado à divisão do plano em um conjunto de regiões de influência, sendo que cada região é definida como o conjunto dos pontos que estão a menor distância euclidiana de um certo ponto de influência, entre um conjunto de pontos dados (BERG et al., 2000). A Fig. 7 mostra o Diagrama de Voronoi construído para três pontos não colineares em um mesmo plano. O ponto de encontro das mediatrizes (circuncentro do \hat{ABC}) será um vértice do diagrama, o ponto equidistante dos três pontos. Ao utilizar apenas métricas de desempenho relacionadas a protocolos de redes,

¹ <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-faixa-de-rodagem.html>

² Dado um conjunto S de n pontos no plano é possível determinar para cada ponto p de S qual é a região V(p) dos pontos do plano que estão mais próximos de p do que de qualquer outro ponto em S. As regiões determinadas por cada ponto formam uma partição do plano chamada de Diagrama de Voronoi.

o modelo apresenta desvantagem em relação ao *RWP* no sentido de não ter utilizado métricas relacionadas a modelos de mobilidade realistas. Os autores concluem que os valores específicos obtidos nas simulações são fortemente dependentes da configuração dos obstáculos no ambiente.

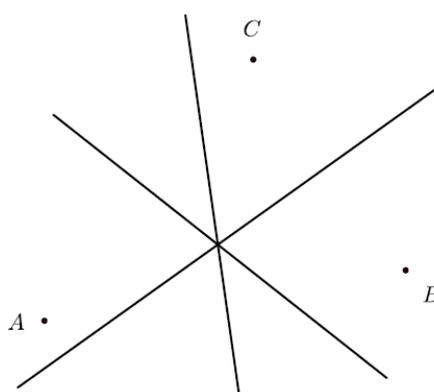


Figura 7 – Diagrama de Voronoi para três pontos em um plano.

Modelos de mobilidade que consideram características sociais buscam representar no *trace* hábitos humanos de proximidade com outras pessoas (melhor descrito como redes sociais).

O artigo (FISCHER; HERRMANN; ROTHERMEL, 2010), apresenta o Modelo Geral de Mobilidade Social (*GeSoMo*), que generaliza uma série de modelos existentes, separando o modelo de mobilidade social e o modelo de rede social. *GeSoMo* recebe uma rede social como entrada e cria um padrão de mobilidade, simulando uma série de encontros entre os usuários desta rede. Por isso, redes sociais arbitrariamente estruturadas podem ser usadas sem modificar o modelo de simulação. Além disso, uma série de parâmetros podem ser usados para ajustar o *GeSoMo* para diferentes cenários. Comparando suas características com medidas reais de mobilidade humana, os autores demonstraram que o *GeSoMo* produz um modelo de mobilidade realista. O modelo capta características como:

- (i) Tempo entre contatos, com distribuição *power law* na metade de um dia e em seguida uma queda com característica de distribuição exponencial;

- (ii) Regularidade temporal, usuários retornam a lugares previamente visitados, após um certo tempo;
- (iii) Regularidade espacial, onde os usuários retornam a poucos lugares de forma frequente, enquanto visita todos os outros lugares com baixa probabilidade.

O artigo (MUSOLESI; MASCOLO, 2007) apresenta um modelo de mobilidade que se baseia na teoria das redes sociais. Uma das contribuições do modelo de mobilidade é a rede social de indivíduos, que transportam dispositivos móveis. Esta rede pode ser gerada de forma sintética, utilizando estes resultados. Os autores avaliaram o modelo utilizando arquivos de *trace* reais de mobilidade fornecidos pela Intel Research e foi demonstrado que o modelo fornece uma boa aproximação dos movimentos reais em termos de alguns parâmetros fundamentais, tais como a distribuição da duração dos contatos e do tempo entre contatos. Em particular, os dados se aproximam da distribuição *power law*, sobre uma grande variedade de valores para o tempo entre contatos. Em vez disso as durações de contatos, seguem a distribuição *power law* por uma margem limitada. O modelo de mobilidade gerado foi comparado com os *traces* de mobilidade e apresentaram características similares aos observados pelos pesquisadores na Universidade da Califórnia, em San Diego e Dartmouth College.

Nossa proposta adota a abordagem da construção de um modelo sintético a partir de *traces* de mobilidade. Além de capturar as propriedades estatísticas de mobilidade dos usuários, a dinâmica relativa às redes oportunistas será toda extraída do *trace*. Não estimamos, por exemplo, quando irá ocorrer um contato (CALEGARI et al., 2007). O contato acontece quando eventualmente dois nós estiverem dentro do raio de cobertura um do outro. O modelo sintético escolhe a direção e a velocidade de deslocamento. Uma outra abordagem promissora é a aplicação dos resultados da teoria de redes sociais (MUSOLESI; MASCOLO, 2009). Nós inserimos na modelagem a visita frequente de lugares populares do campus universitário (*hotspots*).

Em geral, os arquivos de *trace* têm as seguintes características:

- contém informações sobre eventos que aconteceram de fato;
- ocupam bastante espaço em disco;

- descrevem um cenário por um intervalo finito de tempo;
- nem sempre estão publicamente disponíveis.

A disponibilidade e o custo para gerar esses arquivos torna-se um desafio e restringe a sua ampla utilização. Embora existam repositórios na Web que disponibilizam arquivos de *trace* coletados por vários grupos de pesquisa ao redor do mundo (ex: CRAWDAD³), nem sempre é possível obter um arquivo de *trace* para uma região geográfica de interesse da pesquisa.

³ <http://www.crowdad.org>

3

METODOLOGIA

Nesta seção, apresenta-se a metodologia utilizada na investigação em busca de um modelo de mobilidade sintético flexível e realista. Na explicação a seguir, usamos as palavras nó e usuário com o mesmo sentido.

3.1 Utilização de arquivo de trace

Nossa investigação inicia com a obtenção de dados de usuários coletados em um campus universitário. O primeiro arquivo de *trace* utilizado foi o MySignals¹, um *dataset* coletado em Chania, Grécia, durante oito meses. O aplicativo anonimiza os usuários, e registra o indicador da potência de chegada (RSSI, do inglês *received signal strength indicator*), em dBm, e a localização geográfica informado pelo módulo GPS dos smartphones, além da hora (*timestamp*) e a identificação (ID) de cada smartphone. 3 milhões de medições GSM foram utilizadas. Por se tratar de um *dataset* relativamente pequeno, ele foi útil para testar cada fase da nossa implementação explicada a seguir.

Por isso, resolvemos adotar os resultados preliminares da aplicação desenvolvida pelo Grupo de Redes de Computadores e Multimídia (GRCM) do Instituto de Computação da UFAM, exemplificado na tabela 1. Os dados se encontram no seu estado original, então, conforme explicado no Capítulo 2, foi preciso fazer uma análise e filtragem. A Figura 8 é uma representação esquemática das atividades desenvolvidas.

Utilizando a linguagem Python, foi desenvolvido um *script* para percorrer as

¹ <https://crawdad.org/tuc/mysignals/index.html>

linhas desse arquivo, fazendo um *parse*, objetivando extrair as informações de nosso interesse para a construção de um *trace* de mobilidade, exemplificado na tabela 2. Este *trace* de mobilidade foi útil na validação do modelo de mobilidade sintético criado neste trabalho e exemplificado na tabela 3. Simulamos uma rede oportunista utilizando esse *trace* de mobilidade e comparamos com os resultados obtidos nas simulações com a mobilidade sintética.

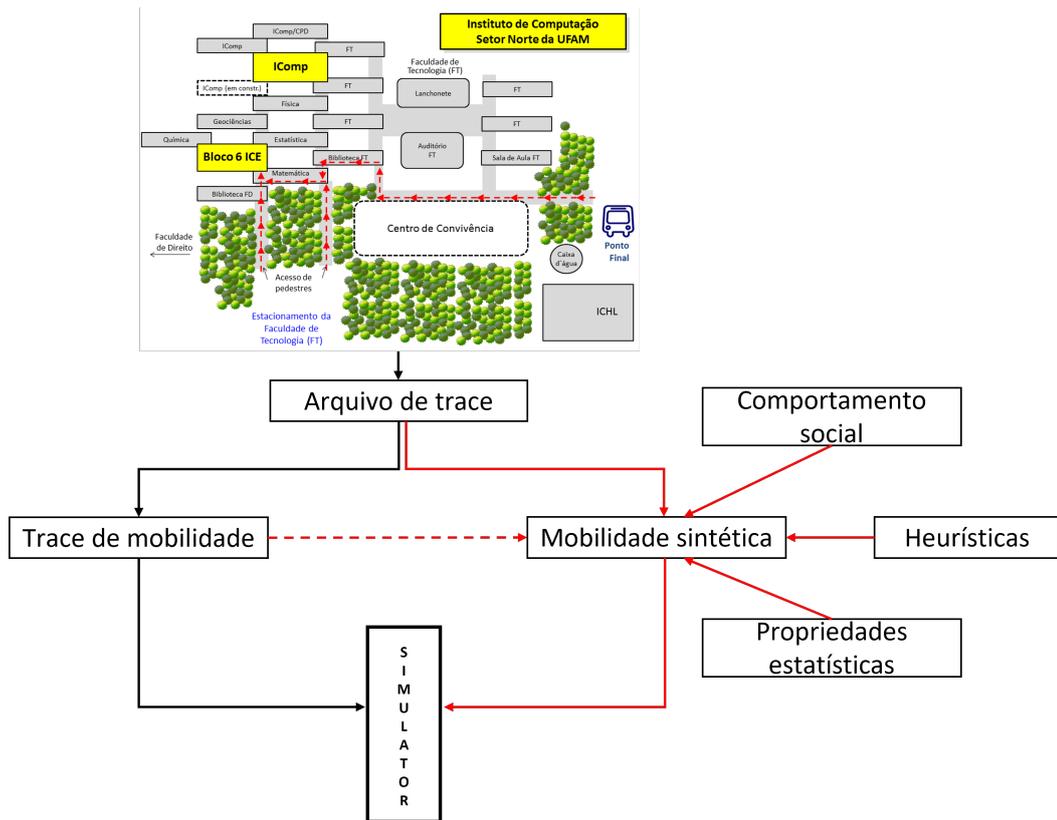


Figura 8 – Representação esquemática das atividades desenvolvidas

data	hora	lat	long	bateria	memória	...
07/08/2019	14:44:57	-3.08812282	-59.96451818	82	7474171904	...
07/08/2019	14:45:27	-3.08815735	-59.96446337	82	7474061312	...
07/08/2019	14:45:57	-3.08818525	-59.96444939	82	7474323456	...
...

Tabela 1 – Formato do arquivo de trace da UFAM

tempo	ID	X	Y
0.0	0	4849.719782326370	6224.56623656803
0.0	1	5468.795606853440	5874.30508669966
0.0	2	544.424123536795	2174.39403160940
0.0	3	4854.537129478520	6227.97083819541
...
1.0	0	4834.148767014030	6230.01269384467
1.0	1	5472.940811455240	5870.93912691254
1.0	2	544.425393364215	2174.47863254002
1.0	3	4855.463922284980	6227.96042299930
1.0	4	4658.458941487100	5718.35373241627
...

Tabela 2 – Formato do trace de mobilidade da UFAM

tempo	X	Y	ID
28802	4452.4890536870	4314.2587542604	22
28803	162.57021643407	334.67635761760	17
28822	4460.9537041541	4421.3848005769	0
28826	4467.5495271030	4407.7673678408	3
28836	4445.8188784271	4279.0793959955	8
28837	4426.1938064955	4308.4699850620	7
28847	4425.3044744748	4316.9810235482	2
28850	4446.8119875341	4299.2790253185	3
28852	4425.3044744748	4316.9810235482	6
28864	4478.2209378182	4305.6354611060	1
...

Tabela 3 – Formato do trace de mobilidade sintético da UFAM

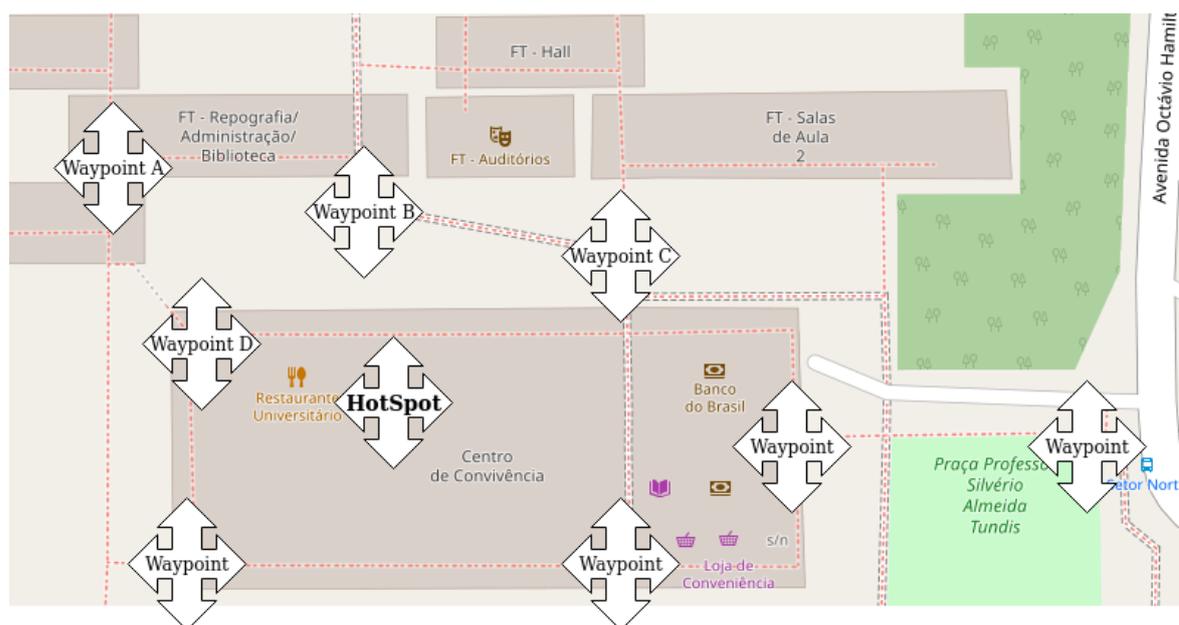


Figura 9 – Waypoints e hotspots em um mapa

3.2 Identificação das pausas

Para cada identificação de usuário (**ID**), o *parse* consegue detectar as linhas do *trace* cuja localização geográfica é a mesma ou, pelo menos, houve pouca variação espacial. E também definida pelo tempo que o usuário permaneceu no mesmo local. O modelo define um parâmetro **T** cujo valor o pesquisador pode fixar no início do processo. Considera-se como pausa a parada do usuário que seja acima desse limiar (*threshold*).

3.3 Identificação dos waypoints

O local de cada pausa chamamos de *waypoint*. Dessa forma, ao final do *parse* teremos um mapa de todas as localidades da área em estudo por onde passaram e pararam os usuários. O número total **W** de *waypoints* é uma variável importante nas tomadas de decisão de cada usuário, como explicado a seguir. Uma suposição da nossa metodologia é que os deslocamentos de um *waypoint* a outro já incorporam o trajeto, exemplificado em vermelho na figura 9, respeitando a topologia do local. Entendemos topologia as

estruturas criadas pelo homem, como ruas, pontes, passagens, caminhos, passarelas e corredores internos e externos de um campus universitário. Além disso, o arquivo original foi coletado durante 13 meses, ou seja, não há motivo prático para encontrarmos outros trajetos que não aqueles que aparecem nos dados coletados.

3.4 Identificação dos hotspots

Assumimos que os nós movimentam-se de um *waypoint* para outro, como aconteceu no mundo real, em direção a um destino, que nesta investigação foi assumido ser um *hotspot*. Identificamos um *hotspot* pela aglomeração de estudantes em uma determinada janela de tempo de por exemplo 15 minutos. De uma outra forma, um *hotspot* é um caso especial de *waypoint*. Então, temos que tomar uma decisão de projeto: quantos usuários caracterizam uma aglomeração de um ponto de atração? Quanto tempo as pessoas ficam em um local de atração? Outra decisão de projeto é a quantidade máxima H de hotspots utilizadas na investigação, tais questões, são bastantes subjetivas e variam de lugar para lugar. Por isso, decidimos extrair essa informação do próprio trace de mobilidade. Dividimos a área do experimento em lotes k de 50m x 50m. O pesquisador pode definir outras dimensões e, portanto, deixamos como parâmetros do modelo. Uma variável c_k foi associada ao lote k para contar o número de usuários dentro de uma janela de tempo de 15 minutos de duração.

Um script foi implementado para fazer um novo *parse* para realizar a contagem descrita acima. Ao final de cada janela de tempo, escolheu-se o lote com o maior contador. Quando terminar o *parse* de todo o arquivo de trace, os H lotes que apareceram mais vezes serão considerados os *hotspots*. A ocupação máxima C de cada *hotspot* é o maior número de nós que esteve naquele local após a análise de todo o *trace* de mobilidade. As coordenadas de cada *hotspot* são as coordenadas do ponto central de cada lote.

Nossa escolha inicial foi $H=10$ e o número inicial N de nós na área do campus é igual a $N = C_1 + C_2 + \dots + C_{10}$. O local inicial de cada nó é um *waypoint*, portanto, é preciso distribuir os N nós de uma maneira uniforme pelos W waypoints. Utilizando

um gerador de variável aleatória uniforme, para cada nó foi gerado um número entre $[1, W]$.

3.5 Tabela de frequência relativa dos waypoints

Waypoint Partida	Waypoint Destino	Frequência (Rank)
0	1	0.200000
0	1	0.200000
0	1	0.200000
1	0	0.666667

Tabela 4 – Exemplo de tabela de frequência relativa

Cada um dos N nós escolhe um *hotspot* de destino utilizando o gerador de distribuição uniforme. Para se deslocar até o seu destino, cada nó precisa escolher uma direção. A nossa proposta é que essa escolha seja baseada em uma tabela de frequência relativa 4, uma espécie de ranking das escolhas a partir de cada nó (Observe a figura 10). A razão é muito simples: será sempre escolhido um trajeto que um dia já foi percorrido. Esses trajetos já consideram a topologia do ambiente.

Um parse no trace de mobilidade detecta os saltos a partir de cada nó e faz uma contagem dessas escolhas. Em seguida, constrói-se um ranking de escolha dividindo a contagem de cada salto pelo total dos saltos a partir de cada nó.

3.6 Próximo salto para cada nó

Para iniciar a caminhada até o seu destino, um nó precisa escolher um *hotspot* como próximo destino usando o gerador de número aleatório uniforme entre $[1, 10]$. Então, o nó precisa descobrir para qual *waypoint* ele deve ir a fim de caminhar na direção do seu destino. Suponha que o nó k quer saber o seu próximo salto. Ele gera um número aleatório uniforme U entre $[0,1]$ e cria uma variável *acum* para acumular as frequências relativas de todas as possibilidades de saltos saindo dele e que foram encontrados no trace. A soma de todas as frequências relativas é igual a 1, mas $U < 1$, logo, ao acumular as frequências relativas, em algum instante $acum > U$, Exemplificado na figura 10.

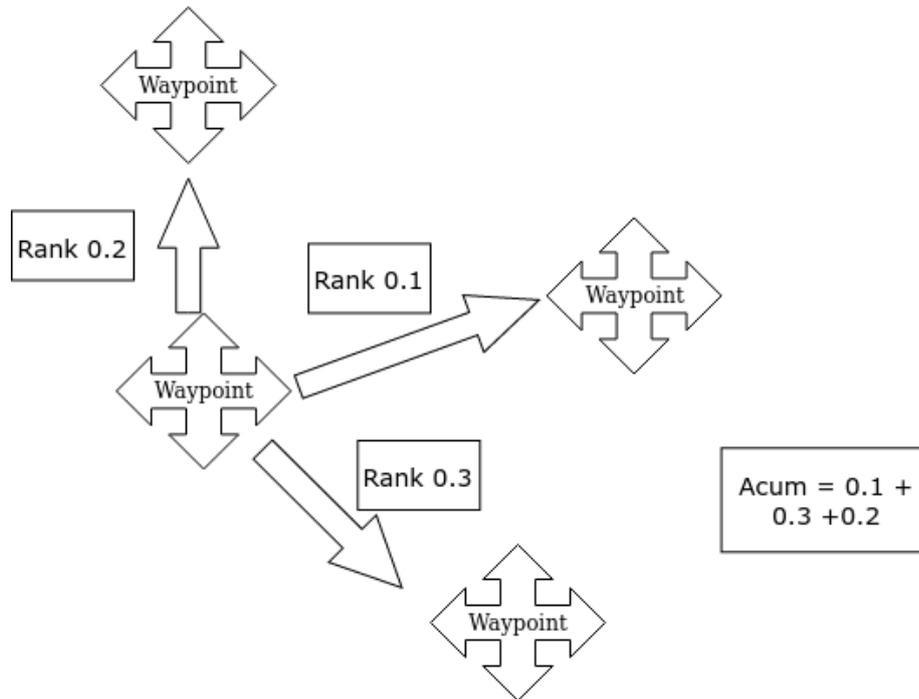


Figura 10 – Diagrama Proximo Salto

Quando isso acontecer, deve-se subtrair a última frequência relativa adicionada à *acum*, e o próximo salto é aquele *waypoint* cuja frequência relativa é igual a *acum*.

No entanto, visando mais realismo, uma decisão de projeto foi caminhar sempre na direção do destino. Por isso, é preciso checar se o próximo *waypoint* selecionado não aumentou a distância para o destino. Seja D a distância da posição atual do nó até o *hotspot* de destino. Seja d a distância entre o próximo *waypoint* selecionado e o *hotspot* de destino. Se $d > D$, como uma probabilidade maior de avançar entre origem e destino, descartar essa escolha e repetir o procedimento acima para a seleção do próximo salto. O pesquisador pode fixar o número R de repetições. Nesta investigação, começamos com $R = 3$.

3.7 Deslocamento dos nós

Uma vez selecionado o destino e qual o próximo salto, o nó inicia o seu deslocamento. Conforme esclarecido anteriormente, o deslocamento será entre *waypoints*, portanto, não é necessário definir qual a extensão de cada trecho do trajeto até o destino. No entanto, é preciso escolher uma velocidade de deslocamento, o que afeta diretamente as caracte-

rísticas temporais da rede oportunista. Vários pesquisadores, incluindo (KIM; KOTZ; KIM, 2006) (VOGT; NIKOLAIDIS; GBURZYNSKI, 2012) e (SOLMAZ; TURGUT, 2019) demonstraram que a velocidade de seres humanos segue uma distribuição lognormal.

$$X = e^{\mu + \sigma Z} \quad (3.1)$$

O tempo de pausa, no entanto, tem distribuição power law.

$$p(x) = \alpha x^a \quad (3.2)$$

Estas foram as nossas escolhas e os parâmetros para a geração dessas variáveis aleatórias foram retiradas do próprio trace de mobilidade.

3.8 Um aplicativo de coleta

Devido a pandemia de COVID-19², e posterior impedimento de acesso presencial ao campus universitário da Universidade Federal do Amazonas^{3 4}, este aplicativo não foi utilizado, pois o mesmo foi construído com delimitação espacial restrita ao polígono que envolvia todo o campus da universidade e na ausência de pessoas a estar fisicamente no mesmo, os dados não puderam ser coletados.

O propósito deste aplicativo é coletar dados de dispositivos móveis em específico aparelhos celulares de usuários da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) com o objetivo de gerar um modelo de mobilidade real e através deste modelo investigar soluções para problemas de encaminhamento de mensagens, gerenciamento de memória e consumo de energia em Redes Oportunistas através de técnicas de simulação, tornando os experimentos mais realistas e com características próprias de comportamento e mobilidade na região amazônica.

Esta abordagem visa apoiar processos de investigação de soluções para problemas encontrados em redes Oportunistas acerca de gerenciamento de recursos de energia, melhores rotas para encaminhamento de mensagens e gerenciamento de mensagens. A coleta de dados foi realizada através da aplicação de um questionário com perguntas

² <https://www.newscientist.com/definition/covid-19/>

³ <https://edoc.ufam.edu.br/handle/123456789/3061>

⁴ <https://edoc.ufam.edu.br/handle/123456789/3090>

objetivas, usando uma abordagem quantitativa e coleta automática de informações sobre mobilidade, consumo de energia e espaço de memória do celular em uso. Portanto, neste projeto, os pesquisadores visaram entender “como os usuários de dispositivos móveis se locomovem dentro da UFAM, padrões de consumo de energia e espaço de memória em seus dispositivos” formando um modelo de mobilidade realístico.

O objetivo principal deste aplicativo foi coletar e analisar os dados através de um arquivo de registro que contenha informações de deslocamento e consumo de energia em um experimento real de coleta de dados e através dessa coleta gerar um modelo de mobilidade real com as particularidades da região amazônica dentro da geolocalização da Universidade Federal do Amazonas.

Para o projeto de coleta de dados, foram produzidos 6.1:

- O aplicativo de coleta
- Um website com instruções para utilização do aplicativo e seu download
- Um projeto submetido e aprovado no comitê de ética da Universidade Federal do Amazonas
- Um cartaz para divulgação em corredores do campus universitário
- Um e-mail enviado ao Coordenador de Curso de Pós-graduação em Informática solicitando a divulgação por e-mail em listas.

4

PROJETO DE EXPERIMENTOS

Nesta seção, apresentaremos a descrição da rede oportunista que foi utilizada em um conjunto de experimentos para validar a proposta da criação de um modelo de mobilidade sintético.

4.1 Planejamento de Experimentos

Na proposta de pesquisa foi designado um modelo de coleta baseado em um aplicativo mas o mesmo não foi utilizado. Para este cenário então escolhemos inicialmente um conjunto de dados, o arquivo de trace disponível no CRAWDAD conhecido com *mysignals* ([ALIMPERTIS; BLETSAS, 2019](#)) foi utilizado. E posteriormente os arquivos de trace do grupo de pesquisa *GRCM*.

4.2 Rede Oportunista

A rede oportunista considerada é formada por um conjunto de N nós que se movimentam em uma área do campus universitário da UFAM. Sempre que dois nós estão dentro do raio de cobertura um do outro (evento chamado de contato), um nó carregando uma mensagem pode entregá-la para o outro nó. Um nó é um usuário portando um *smartphone* com capacidade de armazenamento infinito. Não estamos preocupados ainda quanto à possibilidade de estouro de *buffer* por se tratar de uma questão complexa

e está fora do escopo deste trabalho. Então, não colocamos limites na capacidade máxima de mensagens que um nó pode armazenar, carregar e repassar. A fim de evitar a perda de mensagem por falta de energia, também assumimos que todos os smartphones estão sempre carregados a um nível que essa questão não impacta nossos objetivos.

Outra escolha de projeto foi não usar TTL (*Time-to-live*) nas mensagens para evitar a possibilidade de perder uma mensagem causada por estouro de TTL.

4.3 Avaliação de desempenho

O simulador escolhido para realizar o estudo de desempenho da rede oportunista foi o TheONE simulator (KERÄNEN; OTT; KÄRKKÄINEN, 2009). Os parâmetros da simulação estão na Tabela 6.

Para analisar os resultados utilizaremos as métricas de rede que denotam as equações descritas abaixo (JUNIOR, 2013):

- Taxa de entrega - definida como a razão entre a quantidade de mensagens entregues ao destinatário (QME) e a quantidade de mensagens criadas na origem (QMC). Conforme a equação 4.1 abaixo:

$$TaxaDeEntrega = \frac{QME}{(QMC)} \quad (4.1)$$

- Atraso médio de entrega - é a medição do intervalo de tempo médio entre o evento de envio e o recebimento das mensagens na rede. Conforme a equação 4.2:

$$AtrasoDeEntrega = \Delta t(Mtn - Mt0) \quad (4.2)$$

Onde:

Mtn = Instante de tempo de entrega da mensagem

Mt0 = Instante de tempo de envio da mensagem

- Sobrecarga - é a diferença entre o número de mensagens repassadas (QMRep) e as mensagens entregues ao destino (QMEnt) dividido pela quantidade de mensagens entregues:

$$Sobrecarga = \frac{QMRep - QMEnt}{QMEnt} \quad (4.3)$$

4.4 Caracterização do cenário

Cada cenário foi simulado 5 vezes, alternando os parâmetros de intervalo de geração de mensagens e foram calculados os valores médios das métricas de avaliação descritas anteriormente.

Nós executamos um conjunto de simulações utilizando o trace de mobilidade gerado a partir do arquivo de trace coletado por nossa aplicação. Depois, nós repetimos todas as simulações usando o modelo de mobilidade sintético.

Tabela 5 – Parâmetros da Simulação Para Trace Real

Parâmetros	Definição
Dados de Mobilidade	Trace Real
Geração de Mensagens	500,500 1000,1000
Roteamento	Epidemic
Número de nós	24
Duração (horas)	5

Tabela 6 – Parâmetros da Simulação para Trace Sintético

Parâmetros	Definição
Dados de Mobilidade	Trace Sintético
Geração de Mensagens	500,500 1000,1000
Roteamento	Epidemic
Número de nós	24
Duração (horas)	5

Neste trabalho usamos o algoritmo de roteamento Epidêmico para redes oportunistas. (VAHDAT; BECKER et al., 2000) (CAO; SUN, 2012).

4.5 Resultados Experimentais

Os pontos dos gráficos gerados para avaliação de desempenho estão acompanhados por intervalos de confiança de 95%, calculados conforme equação:

$$\text{IntervaloDeConfianca} = \bar{y} \pm 1,96 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (4.4)$$

Onde:

\bar{y} é a média das respostas y_i após n repetições e σ corresponde ao desvio padrão das amostras, conforme a equação 4.5 e a constante 1,96 indica que 95% da área sob a curva de distribuição normal das amostras está dentro de 1,96 desvios-padrões da média.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad (4.5)$$

- Taxa de entrega - Trace Real (UFAM) x Trace Sintético

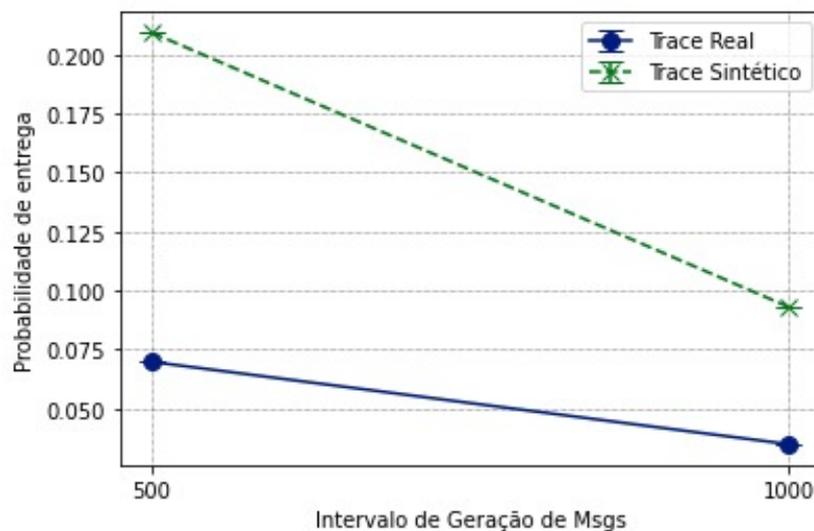


Figura 11 – Taxa de entrega

No gráfico 11, o comportamento do modelo sintético, apresenta valores de probabilidades de entregas ligeiramente superiores em relação ao trace reais.

- Atraso Médio Entrega - Trace Real (UFAM) x Trace Sintético

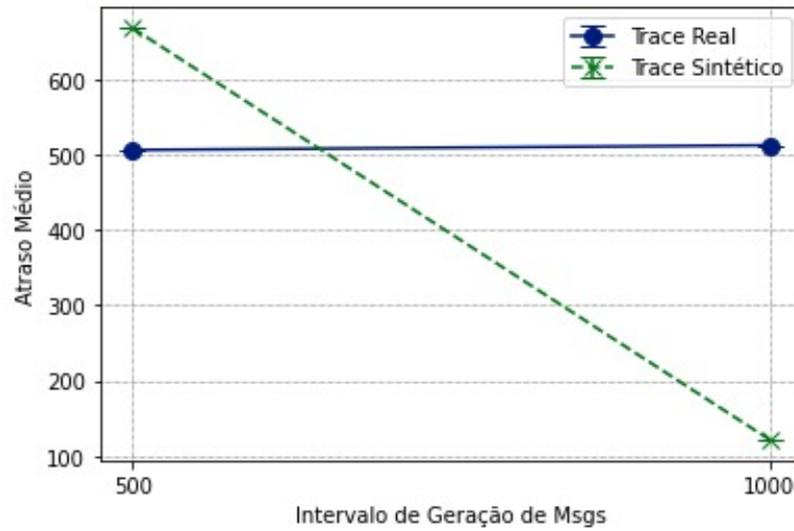


Figura 12 – Atraso Médio Entrega

No gráfico 12, o comportamento do modelo sintético, apresenta atrasos maiores que o trace real no intervalo de 500 mensagens e com atraso médio bem inferior em 1000 mensagens, aqui o comportamento foi diferente, acreditamos que isso merece um aprofundamento em trabalhos futuros.

- Sobrecarga - Trace Real (UFAM) x Trace Sintético

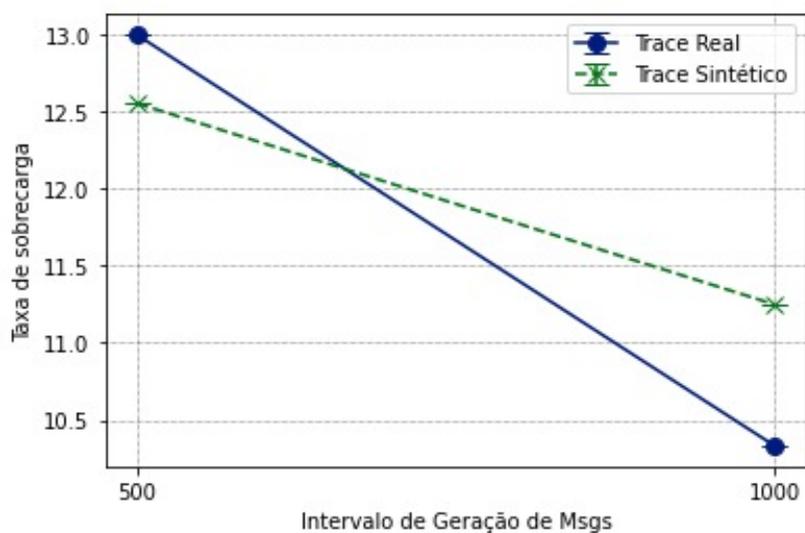


Figura 13 – Sobrecarga

No gráfico 13, Diferença na taxa de sobrecarga: 3.47791 % diferença do cenário de trace real para o sintético com geração de mensagens a cada 500 segundos e 8.49453 % diferença para os cenários quando a geração de mensagens é a cada 1000 segundos. Desde que o número de nós é o mesmo e seguem uma mobilidade baseada no trace real, logo se demonstra que para algumas métricas, o desempenho de ambos é similar. Como era esperado em nossa hipótese

4.6 Comparação Entre Modelos

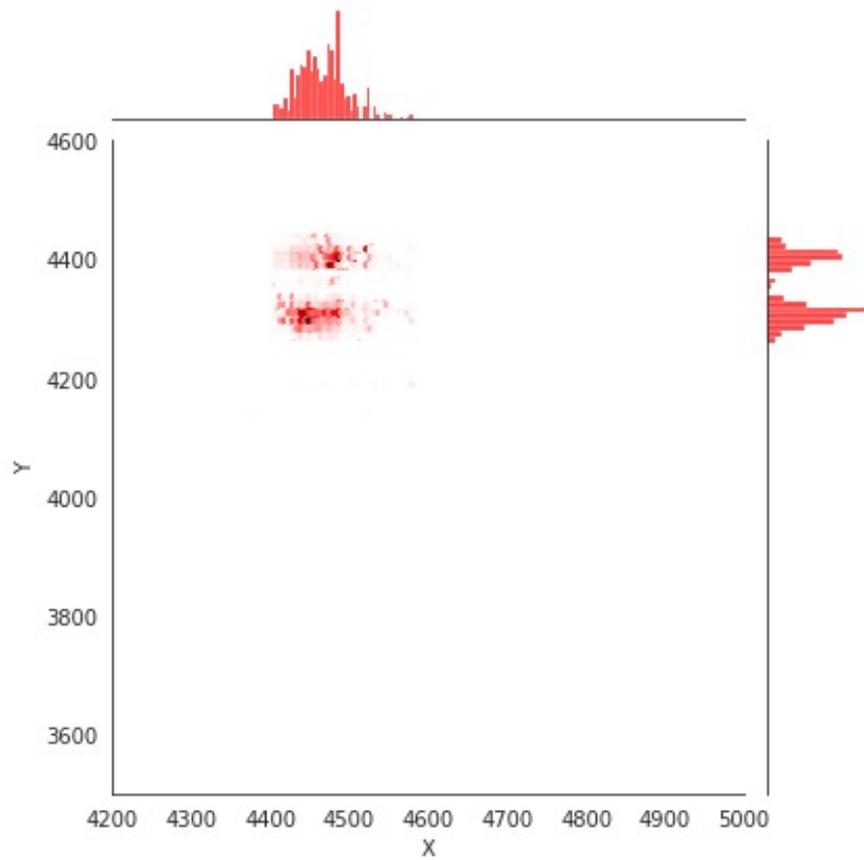


Figura 14 – Trace Sintético

No gráfico 14, o modelo apresentou uma diferenciação de duas áreas distintas, como uma "possibilidade" de apresentar hotspots, ou aglomerações.

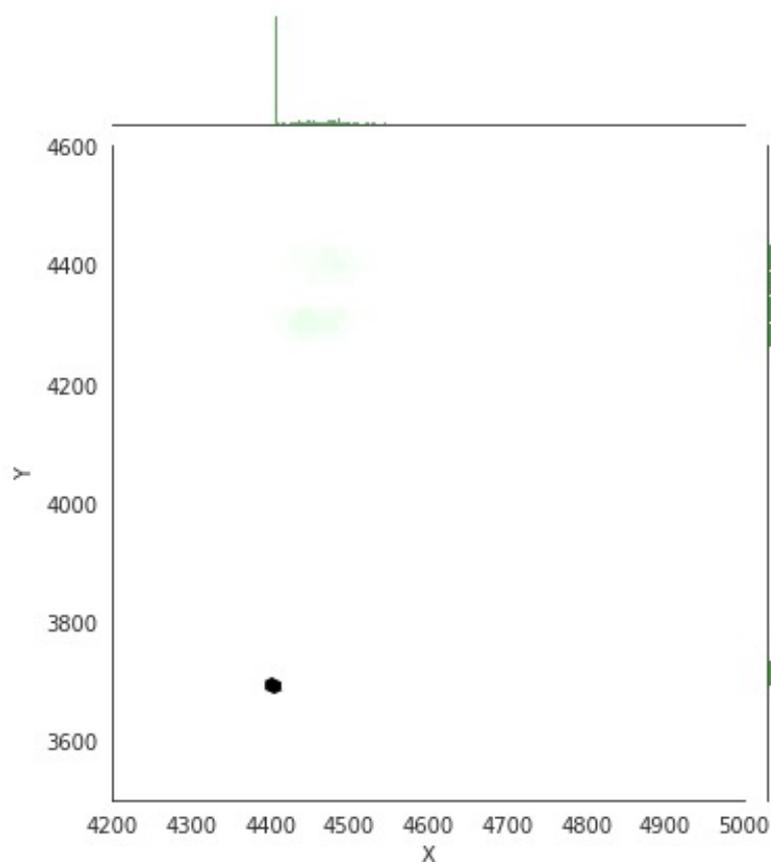


Figura 15 – Trace UFAM

No gráfico 15, embora na mesma escala do gráfico 14, é perceptível a diferença em relação ao outro gráfico, e sugerimos um aprofundamento em projetos futuros.

5

CONCLUSÕES

Uma boa comunicação de dados é resultado do esforço humano coletivo, que se bem utilizado proporciona benefícios a todos. A utilização de modelos de mobilidades sintéticos baseados em traces, alia a flexibilidade de um algoritmo com a possibilidade de utilizar características estatísticas presentes em traces reais. Neste trabalho, propomos um modelo de mobilidade humana, baseados em lugares populares waypoints e outros extremamente populares conhecidos como hotspots.

O modelo construído apresenta uma abordagem prática e de uso imediato em grupos de pesquisa que estejam interessados em mobilidade humana, e especialmente em redes oportunistas viabilizando novas pesquisas na área. Com a utilização do modelo, é possível criar cenários realistas com bastante precisão com ajuste fino por exemplo, definir quantos usuários podem ser inclusos nos modelos de mobilidade, somente ajustando variáveis em um programa de computador. Os arquivos de trace originais estão limitados aos dados coletados, sem flexibilidade.

A notar que nos valores experimentais obtivemos na taxa de sobrecarga o valor de 3.47% de similaridade o que mostra que o experimento se aproxima dos valores reais obtidos no trace original.

5.1 Trabalhos futuros

- Estudar o impacto da escolha da posição inicial dos nós pois neste trabalho este item esta fora do escopo.
- Estudar o impacto que hotspot possam ser escolhidos sem utilizar variáveis aleatórias, Isso pode ter um impacto significativo na construção do modelo.
- Estudar uma forma de não existir um limite pre-determinado de hotspots.
- Estudar algoritmos de clusterização, porem temporal para determinar os hotspots.

REFERÊNCIAS

- ALENAZI, M. J. et al. Rssgm: Recurrent self-similar gauss–markov mobility model. *Electronics*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 9, n. 12, p. 2089, 2020. [17](#)
- ALIMPERTIS, E.; BLETSAS, A. Crawdad dataset tuc/mysignals (v.2019-10-30). 2019. [39](#)
- BACANLI, S. S.; SOLMAZ, G.; TURGUT, D. Opportunistic message broadcasting in campus environments. In: IEEE. *2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. [S.l.], 2015. p. 1–6. [20](#)
- BARBOSA, H. et al. Human mobility: Models and applications. *Physics Reports*, Elsevier, v. 734, p. 1–74, 2018. [20](#)
- BERG, M. T. D. et al. *Computational geometry: algorithms and applications*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2000. [26](#)
- BETTSTETTER, C. Mobility modeling in wireless networks: categorization, smooth movement, and border effects. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, ACM New York, NY, USA, v. 5, n. 3, p. 55–66, 2001. [17](#)
- BHANDARI, S. R.; LEE, G. M.; CRESPI, N. Mobility model for user’s realistic behavior in mobile ad hoc network. In: IEEE. *2010 8th Annual Communication Networks and Services Research Conference*. [S.l.], 2010. p. 102–107. [25](#)
- CALEGARI, R. et al. Ctg: A connectivity trace generator for testing the performance of opportunistic mobile systems. In: *Proceedings of the the 6th joint meeting of the European software engineering conference and the ACM SIGSOFT symposium on The foundations of software engineering*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 415–424. [28](#)
- CAMP, T.; BOLENG, J.; DAVIES, V. A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless communications and mobile computing*, Wiley Online Library, v. 2, n. 5, p. 483–502, 2002. [16](#)
- CAO, Y.; SUN, Z. Routing in delay/disruption tolerant networks: A taxonomy, survey and challenges. *IEEE Communications surveys & tutorials*, IEEE, v. 15, n. 2, p. 654–677, 2012. [41](#)
- EAGLE, N. et al. Reality mining: sensing complex social systems. *Personal and ubiquitous computing*, Springer, v. 10, n. 4, p. 255–268, 2006. [20](#)

- FISCHER, D.; HERRMANN, K.; ROTHERMEL, K. Gesomo—a general social mobility model for delay tolerant networks. In: IEEE. *The 7th IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (IEEE MASS 2010)*. [S.l.], 2010. p. 99–108. [25](#), [27](#)
- GONZALEZ, M. C.; HIDALGO, C. A.; BARABASI, A.-L. Understanding individual human mobility patterns. *nature*, Nature publishing group, v. 453, n. 7196, p. 779–782, 2008. [21](#), [24](#)
- HASAN, S. et al. Spatiotemporal patterns of urban human mobility. *Journal of Statistical Physics*, Springer, v. 151, n. 1, p. 304–318, 2013. [20](#)
- HEINEMANN, A.; KANGASHARJU, J.; MUHLHAUSER, M. Opportunistic data dissemination using real-world user mobility traces. In: IEEE. *22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications-Workshops (aina workshops 2008)*. [S.l.], 2008. p. 1715–1720. [19](#)
- JARDOSH, A. et al. Towards realistic mobility models for mobile ad hoc networks. In: *Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 217–229. [26](#)
- JOHNSON, D. B.; MALTZ, D. A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. In: *Mobile computing*. [S.l.]: Springer, 1996. p. 153–181. [17](#)
- JUNIOR, N. M. *SOCLEER: uma proposta de disseminação de dados para redes oportunistas com redistribuição de carga em nós preferidos*. Dissertação (Mestrado), 2013. [40](#)
- KARAMSHUK, D. et al. Human mobility models for opportunistic networks. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 49, n. 12, p. 157–165, 2011. [5](#), [21](#), [22](#), [23](#), [24](#)
- KERÄNEN, A.; OTT, J.; KÄRKKÄINEN, T. The one simulator for dtn protocol evaluation. In: ICST (INSTITUTE FOR COMPUTER SCIENCES, SOCIAL-INFORMATICS AND *Proceedings of the 2nd international conference on simulation tools and techniques*. [S.l.], 2009. p. 55. [40](#)
- KIM, M.; KOTZ, D.; KIM, S. Extracting a mobility model from real user traces. 2006. [37](#)
- LIMA, P. A. *Gerenciamento de Buffers em Redes DTN baseado em Entropia de Mobilidade*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Amazonas, 2013. [11](#)
- MUNJAL, A.; CAMP, T.; NAVIDI, W. C. Smooth: a simple way to model human mobility. In: *Proceedings of the 14th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 351–360. [25](#), [26](#)
- MUSOLESI, M.; MASCOLO, C. A community based mobility model for ad hoc network research. In: *Proceedings of the 2nd international workshop on Multi-hop ad hoc networks: from theory to reality*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 31–38. [12](#)
- MUSOLESI, M.; MASCOLO, C. Designing mobility models based on social network theory. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, ACM New York, NY, USA, v. 11, n. 3, p. 59–70, 2007. [25](#), [28](#)
- MUSOLESI, M.; MASCOLO, C. *Mobility models for systems evaluation. A survey. State of the art on middleware for network eccentric and mobile applications (MINEMA)*. [S.l.]: Springer, 2009. [11](#), [28](#)

- NAIN, P. et al. Properties of random direction models. In: IEEE. *Proceedings IEEE 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. [S.l.], 2005. v. 3, p. 1897–1907. [16](#)
- NETO, J. B. P. *Um Modelo para Previsão do Volume de Contato em Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões: Uma Abordagem Quantitativa*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Amazonas, 2011. [11](#)
- PAPADOPOULI, M.; SCHULZRINNE, H. Effects of power conservation, wireless coverage and cooperation on data dissemination among mobile devices. In: *Proceedings of the 2nd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*. [S.l.: s.n.], 2001. p. 117–127. [11](#)
- PELUSI, L.; PASSARELLA, A.; CONTI, M. Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks. *IEEE communications Magazine*, IEEE, v. 44, n. 11, p. 134–141, 2006. [10](#)
- RHEE, I. et al. On the levy-walk nature of human mobility. *IEEE/ACM transactions on networking*, IEEE, v. 19, n. 3, p. 630–643, 2011. [15](#)
- RIBEIRO, A. G.; SOFIA, R.; ZÚQUETE, A. Improving mobile networks based on social mobility modeling. In: IEEE. *2011 19th IEEE International Conference on Network Protocols*. [S.l.], 2011. p. 289–291. [24](#)
- SANTOS, R. B.; MORAES, R. M. de. Sobre o transiente inicial da velocidade media dos nós no modelo levy-walk e em traces humanos. In: *XXXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais – SBrT*. [S.l.: s.n.], 2008. -, p. —. [15](#)
- SCHWAMBORN, M.; ASCHENBRUCK, N.; MARTINI, P. A realistic trace-based mobility model for first responder scenarios. In: *Proceedings of the 13th ACM international conference on Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 266–274. [12](#)
- SOLMAZ, G.; TURGUT, D. Tracking evacuation of pedestrians during disasters. In: IEEE. *2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. [S.l.], 2015. p. 1–6. [20](#)
- SOLMAZ, G.; TURGUT, D. A survey of human mobility models. *IEEE Access*, IEEE, v. 7, p. 125711–125731, 2019. [37](#)
- SONG, C. et al. Modelling the scaling properties of human mobility. *Nature physics*, Nature Publishing Group, v. 6, n. 10, p. 818–823, 2010. [21](#)
- SONG, C. et al. Limits of predictability in human mobility. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 327, n. 5968, p. 1018–1021, 2010. [15](#), [20](#), [21](#)
- VAHDAT, A.; BECKER, D. et al. *Epidemic routing for partially connected ad hoc networks*. [S.l.]: Technical report cs-200006, Duke university, 2000. [41](#)
- VOGT, R.; NIKOLAIDIS, I.; GBURZYNSKI, P. A realistic outdoor urban pedestrian mobility model. *Simulation Modelling Practice and Theory*, Elsevier, v. 26, p. 113–134, 2012. [37](#)

- WANG, P.; AKYILDIZ, I. F. Effects of different mobility models on traffic patterns in wireless sensor networks. In: IEEE. *2010 IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM 2010*. [S.l.], 2010. p. 1–5. [15](#)
- WOOLARD, E. W. *Investigations on the Theory of the Brownian Movement*. [S.l.]: JSTOR, 1928. [16](#)
- YOON, J.; LIU, M.; NOBLE, B. Random waypoint considered harmful. In: IEEE. *IEEE INFOCOM 2003. Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (IEEE Cat. No. 03CH37428)*. [S.l.], 2003. v. 2, p. 1312–1321. [17](#)
- ZENG, W. et al. Visualizing mobility of public transportation system. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, IEEE, v. 20, n. 12, p. 1833–1842, 2014. [24](#)
- ZHAO, K. et al. Explaining the power-law distribution of human mobility through transportation modality decomposition. *Scientific reports*, Nature Publishing Group, v. 5, n. 1, p. 1–7, 2015. [10](#)

6

ANEXOS

6.1 Divulgação do Projeto de Coleta

Foram criados alguns artefatos para divulgar e disponibilizar o aplicativo de coleta de dados de traces reais.

- Tela do aplicativo de coleta [16](#);
- Foi criado um *website* ¹, ilustrado nas figuras [18](#), [19](#), [20](#), [21](#);
- Foi criado um cartaz ilustrado na Figura [17](#), para ser distribuído nos murais da UFAM.

6.2 Parecer do Comitê de Ética

Foi submetido ao Comitê de Ética em pesquisa, o projeto de coleta, pois o mesmo é necessário por ser uma pesquisa envolvendo pessoas, com utilização de um questionário eletrônico, sendo necessário o consentimento pessoal para a utilização do mesmo.

Parecer do Comitê de Etica aprovado em 15/12/2019 nas figuras, [22](#), [23](#), [24](#), [25](#), [26](#), [27](#)

¹ <https://sites.google.com/view/appcoletadedados>

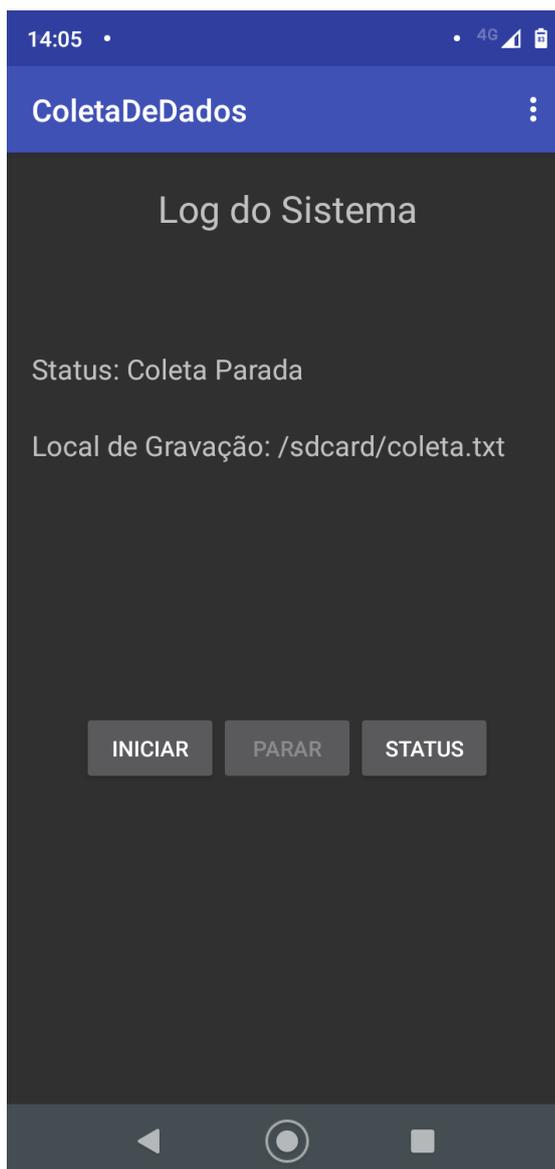


Figura 16 – tela do aplicativo de coleta

6.3 Email enviado para Lista ICOMP

Após a aprovação do projeto de coleta pelo comitê de ética e o início do período letivo da universidade, solicitamos a Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Informática, a divulgação do link do site em listas de email, confirmado pelo email ilustrado na figura 28.

PESQUISA SOBRE USUÁRIOS DE DISPOSITIVOS MÓVEIS



VALE HORAS COMPLEMENTARES

Gostou e quer saber como funciona?

Baixe o aplicativo pelo nosso site ou através do QR Code ao lado. Vem com a gente contribuir com a internet do futuro.

<https://sites.google.com/view/appcoletadadedados/coletadadosapp@gmail.com>



Universidade Federal do Amazonas
**Programa de Pós-Graduação em
Informática - PPGI**

Figura 17 – Poster

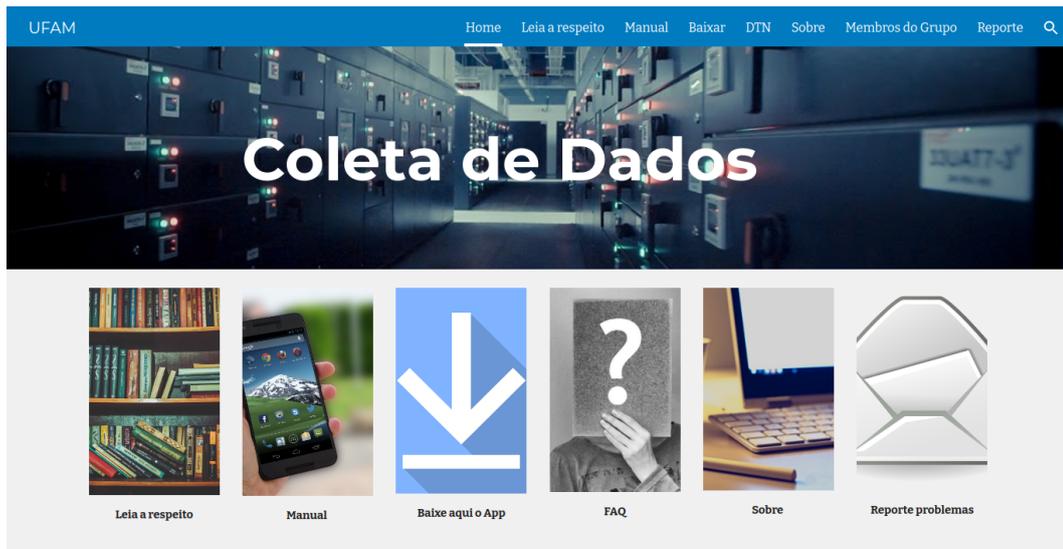


Figura 18 – Site do Aplicativo



Figura 19 – Site do Aplicativo

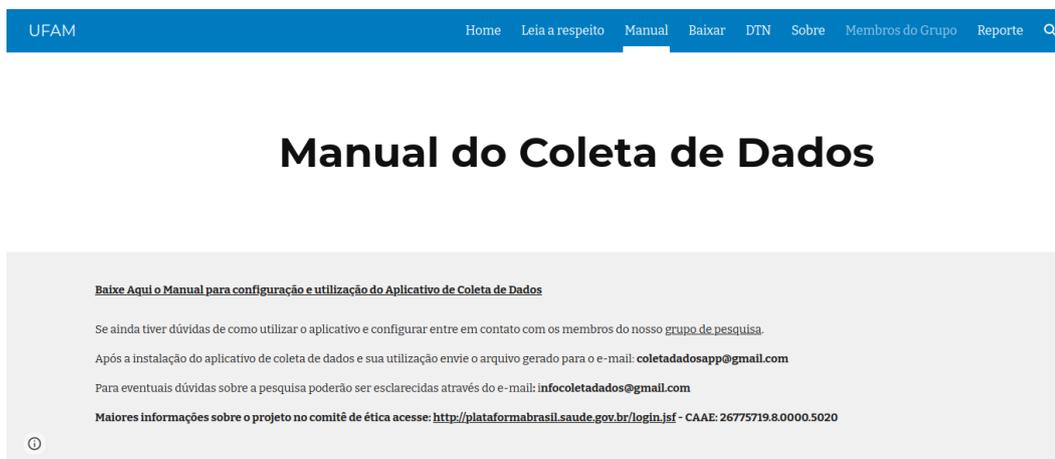
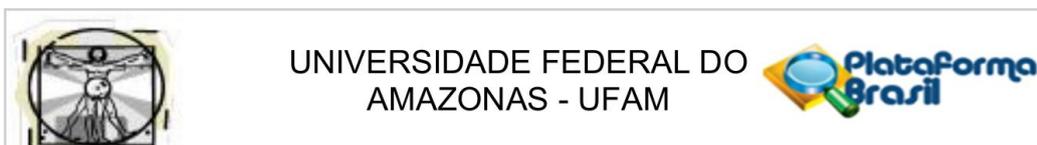


Figura 20 – Site do Aplicativo



Figura 21 – Site do Aplicativo

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: Análise de mobilidade humana utilizando aplicativo de coleta de dados aplicado a redes oportunistas

Pesquisador: ARLINTON JOSE LIMA COUTINHO

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 26775719.8.0000.5020

Instituição Proponente: Instituto de Computação

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.772.460

Apresentação do Projeto:

As tecnologias de comunicação sem fio podem oferecer soluções adequadas para ambientes desafiadores, onde não há infraestrutura de rede. Este cenário é muito comum na região Amazônica, onde a vegetação é densa e a umidade elevada. Alguns cenários típicos dessa aplicabilidade são:

redes de sensores marítimos e subaquáticos, comunicações espaciais (tais como DSN – Deep Space Network, e IPN – Interplanetary Internet), situações de emergência e desastres, Minas terrestres e áreas remotas tais como florestas, áreas rurais e áreas ribeirinhas. O suporte de comunicação nesses cenários depende exclusivamente do contato entre dispositivos móveis, situação em que a distância entre eles permite a troca direta de mensagens. Definimos redes oportunistas como o conjunto de aplicativos e serviços executados em dispositivos de usuários finais (por exemplo, smartphones, tablets e dispositivos digitais semelhantes) que usam oportunidades de comunicação direta para trocar informações entre si. O termo “oportunista” refere-se ao fato de que as oportunidades de comunicação com outros dispositivos são usadas à medida que elas acontecem [Dede et al., 2018]. Importante destacar que a mobilidade humana dos usuários de dispositivos móveis nesse tipo de rede tem influência diretamente na quantidade e na qualidade do contato entre eles na rede. Existem diversos problemas nessa modalidade de comunicação que continuam em aberto e são alvos de diversas pesquisas no mundo todo. Dentre estes problemas destacamos o encaminhamento de mensagens na rede que

Endereço: Rua Teresina, 495

Bairro: Adrianópolis

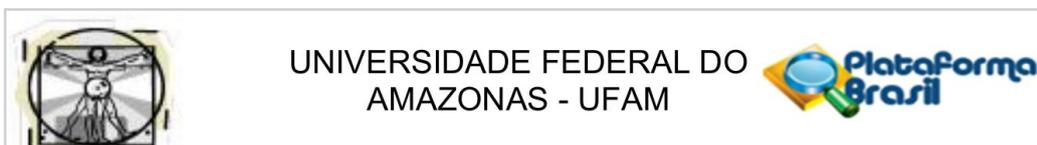
CEP: 69.057-070

UF: AM

Município: MANAUS

Telefone: (92)3305-1181

E-mail: cep.ufam@gmail.com



Continuação do Parecer: 3.772.460

consiste em traçar rotas comuns entre os usuários de dispositivos móveis partindo da oportunidade e da possibilidade de contato entre eles através de encontros diários, semanais e até mensais dependendo do contexto, o gerenciamento de energia é outro problema destacado como recurso crítico, pois estes dispositivos são equipados com bateria de energia que possui uma duração limitada, redes oportunistas dependem da disponibilidade dos dispositivos móveis dos usuários para se comunicar em áreas remotas de difícil acesso e nem sempre esses usuários dispõem de uma fonte de alimentação. Para pesquisar soluções e propostas de algoritmos para este tipo de comunicação e os problemas de encaminhamento de mensagens e consumo de energia é necessário realizar experimentos simulados, onde a movimentação das pessoas pode ser representada por um modelo matemático de mobilidade, ou através de um arquivo de registros contendo informações de deslocamento e coletados em um experimento real. Esse arquivo é chamado de rastro (do inglês, trace). Segundo [Musolesi et al., 2009], os modelos baseados em traces reais, são baseados na captura de dados de movimentação humana através de dispositivos móveis utilizando recursos de localização e comunicação entre os dispositivos. A premissa deste projeto parte do pressuposto que é necessário coletar dados mais realistas possíveis para simular em ambientes controlados programas com o objetivo de propor soluções viáveis para utilização em ambiente real.

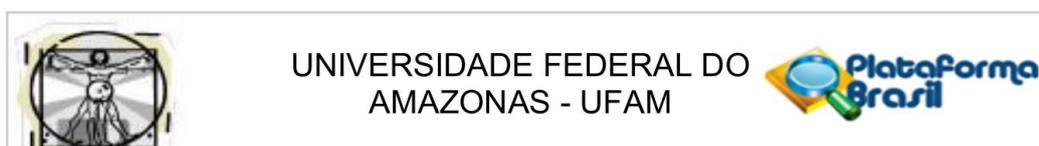
Hipótese:

H1: Os usuários possuem locais de mobilidade comuns formando padrões específicos. H2: Os usuários possuem padrões diferentes de utilização do dispositivo e consumo de energia. H3: Os usuários utilizam tipos de conexão de rede diferentes. H4: Os usuários se conectam apenas com conhecidos.

Metodologia:

Para atingir os objetivos propostos, este projeto visa seguir as seguintes etapas: Definir o mecanismo de recrutamento dos participantes da pesquisa – Será definida a forma ou formas (e-mail, convite pessoal, cartazes, site instrucional), visando atrair a maior quantidade possível de pessoas interessadas em participar do experimento; Aplicar a coleta de dados através do aplicativo instalado no celular dos participantes, após a aceitação dos termos de uso disponibilizado de forma online; Efetuar análise e mineração dos resultados obtidos formando um repositório com dados integrados no formato necessário para utilização em

Endereço: Rua Teresina, 495	
Bairro: Adrianópolis	CEP: 69.057-070
UF: AM	Município: MANAUS
Telefone: (92)3305-1181	E-mail: cep.ufam@gmail.com



Continuação do Parecer: 3.772.460

experimentos de simulação de redes oportunistas.

Critério de Inclusão:

* Os participantes dos estudos deverão ser alunos de graduação e pós-graduação do curso de Ciência da Computação e/ou Sistemas de Informação da UFAM. * Participantes podem ser de qualquer gênero, raça ou classe social.* Os participantes devem possuir a maioridade (no mínimo 18 anos).

Critério de Exclusão:

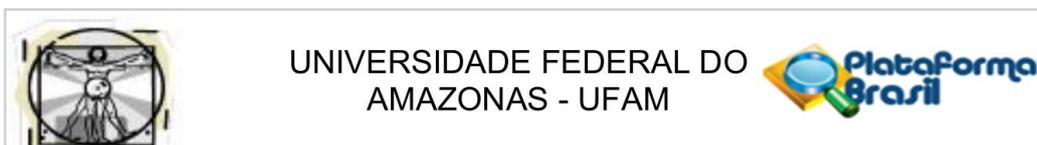
* Participantes que utilizam celular com sistema operacional diferente de android.* Participantes que não possuem celular com tecnologia 3G ou wifi.

Metodologia de Análise de Dados:

Com o propósito de alcançar os objetivos definidos anteriormente, a análise de dados coletados visa dar sentido a um conjunto de informações levantadas. A seguir serão apresentados os métodos empregados para realizar a análise dos dados dos estudos realizados no âmbito deste projeto.A coleta dos dados será realizada diretamente no ambiente do participante, através de um aplicativo de celular que contém um questionário

com perguntas objetivas e função de coletar informações sobre localização, consumo de energia e espaço do dispositivo utilizado. será utilizado análise quantitativa dos resultados dos estudos: este tipo de análise tem sido empregado para fornecer informações resumidas sobre os dados, como, a média, a mediana, a moda e a frequência (Shull et al., 2008). Segundo Shull et al. (2008), as análises quantitativas também podem determinar se determinadas hipóteses são apoiadas pelos dados. Desta forma, neste projeto será realizada uma análise quantitativa para verificar os dados quantitativos dos estudos.Basicamente a metodologia de análise de dados segue as etapas:Capturar traces de tráfego (mobilidade) humano.Capturar informações do questionário objetivo.Convertir dados do questionário em estruturas de tabulação.Consolidar e Converter dados de tráfego em estruturas legíveis.Armazenar os traces em um repositório estável.Analisar os dados convertidos.

Endereço: Rua Teresina, 495
Bairro: Adrianópolis **CEP:** 69.057-070
UF: AM **Município:** MANAUS
Telefone: (92)3305-1181 **E-mail:** cep.ufam@gmail.com



Continuação do Parecer: 3.772.460

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

O objetivo principal deste projeto é coletar e analisar os dados através de um arquivo de registro que contenha informações de deslocamento e consumo de energia em um experimento real através de um aplicativo de celular de coleta de dados e através dessa coleta gerar um modelo de mobilidade real com as particularidades da região amazônica dentro da geolocalização da Universidade Federal do Amazonas.

Objetivo Secundário:

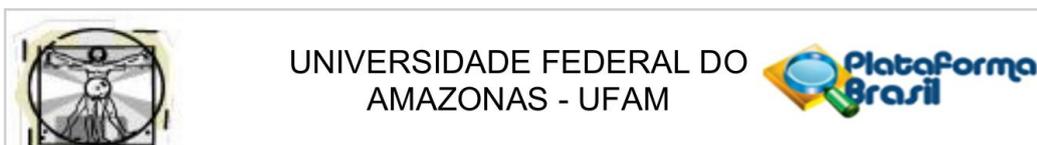
Elaborar uma forma de recrutar voluntários para participar dos experimentos sobre mobilidade. Analisar métricas de mobilidade e consumo de energia aplicados em redes oportunistas utilizando elementos estatísticos através de utilização de simulação com dados reais.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Toda pesquisa realizada com seres humanos apresenta riscos. A fim de minimizar esses riscos os pesquisadores desenvolveram um site com explicações detalhadas sobre a pesquisa e o aplicativo de coleta de dados, além do compromisso de esclarecer quaisquer dúvidas durante o processo de coleta de dados e utilização do aplicativo. A funcionalidade de localização funciona apenas dentro das dependências da Universidade Federal do Amazonas, não teremos acesso a nenhum tipo de dados do celular, como fotos, vídeos, conversas de whatsapp, nem qualquer outro tipo de arquivo do celular. O aplicativo não faz nenhum tipo de Download, o arquivo gerado pelo aplicativo é em formato .txt, sendo repassado aos pesquisadores pelo próprio participante da pesquisa. O aplicativo possui um questionário com perguntas objetivas sobre os locais frequentados pelos alunos na instituição e informações básicas sobre o uso do celular. O usuário tem total acesso aos dados coletados pelo aplicativo em seu celular e pode decidir quando parar e quando iniciar o serviço de coleta de dados. Somente os pesquisadores mencionados no protocolo de pesquisa terão acesso aos dados individuais de cada participante. Será descrito também no TCLE que não serão utilizados os nomes dos participantes para a

Endereço: Rua Teresina, 495
Bairro: Adrianópolis **CEP:** 69.057-070
UF: AM **Município:** MANAUS
Telefone: (92)3305-1181 **E-mail:** cep.ufam@gmail.com



Continuação do Parecer: 3.772.460

identificação do arquivo. O arquivo gerado pelo aplicativo coleta de dados possui informações sobre: Tipo de Conexão de Rede disponível no celular:

wifi, rede móvel (3G, 4G) no local onde está o dispositivo. Localização do dispositivo móvel conforme sua mobilidade dentro da UFAM, essa

funcionalidade não funciona FORA da UFAM, se restringe ao espaço institucional da pesquisa. Situação da bateria durante utilização do

aplicativo. Espaço de memória, somente o % disponível no celular. Questionário com perguntas fechadas (objetivas) sobre a movimentação dos

alunos na instituição e comportamento de uso dos celulares sobre carregamento de energia.

Benefícios:

Melhorar a experiência de uso de redes DTN em um ambiente amazônico, é de interesse público, com aplicações que vão além de benefícios

diretos como um melhor comunicação local sem intermediários e com velocidades maiores e melhores recursos disponíveis, apresenta-se como

uma oportunidade a todos os participantes desta pesquisa, pois vemos que de forma de baixo custo (o aplicativo não custa nada aos participantes) o

mesmo proporcionará uma plataforma que poderá ser usada de forma a que programas futuros de pesquisa possam aproveitá-lo e aplicá-lo em suas

pesquisas ampliando seus benefícios em um ambiente de campus universitários.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

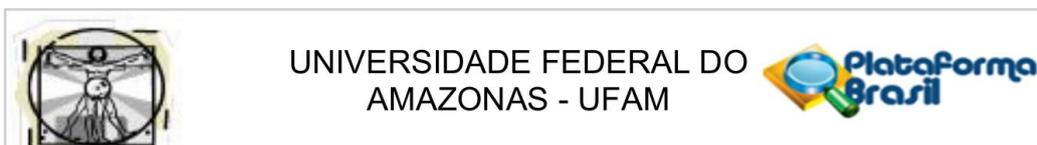
Trata-se da primeira submissão do projeto de pesquisa em nível de mestrado com título "Análise de mobilidade humana utilizando aplicativo de coleta de dados aplicado a redes oportunistas" do aluno ARLINTON JOSE LIMA COUTINHO, orientado pelo Prof. Dr. Edjair de Souza Mota, ambos vinculados ao PPGI da UFAM. O objetivo geral do projeto é coletar e analisar os dados através de um arquivo de registro que contenha informações de deslocamento e

consumo de energia em um experimento real através de um aplicativo de celular de coleta de dados e através dessa coleta gerar um modelo de mobilidade real com as particularidades da região amazônica dentro da geolocalização da Universidade Federal do Amazonas.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Verificar item "Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações".

Endereço: Rua Teresina, 495
Bairro: Adrianópolis **CEP:** 69.057-070
UF: AM **Município:** MANAUS
Telefone: (92)3305-1181 **E-mail:** cep.ufam@gmail.com



Continuação do Parecer: 3.772.460

Recomendações:

Incluir o orientador na equipe de pesquisa e anexar ao protocolo de pesquisa o currículo Lattes do mesmo.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não foram observados óbices éticos.

Considerações Finais a critério do CEP:

Não foram observados óbices éticos. Nosso parecer é pela APROVAÇÃO do protocolo de pesquisa.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1481600.pdf	09/12/2019 15:01:50		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	v1_Projeto_Detalhado_Comite.docx	09/12/2019 15:00:33	ARLINTON JOSE LIMA COUTINHO	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto_CEP_digitalizada.pdf	09/12/2019 15:00:10	ARLINTON JOSE LIMA COUTINHO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	v2_TCLE_Pesquisa.docx	09/12/2019 14:22:23	ARLINTON JOSE LIMA COUTINHO	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

MANAUS, 15 de Dezembro de 2019

Assinado por:
Eliana Maria Pereira da Fonseca
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Teresina, 495
Bairro: Adrianópolis CEP: 69.057-070
UF: AM Município: MANAUS
Telefone: (92)3305-1181 E-mail: cep.ufam@gmail.com



Arlinton Jose Lima Coutinho <ajlc@ufam.edu.br>

Pesquisa sobre usuários de dispositivos móveis

Eduardo Luzeiro Feitosa <efeitosa@icomp.ufam.edu.br>

11 de março de 2020 09:26

Para: Lista do PPGI <ppgi-l@icomp.ufam.edu.br>, Grad_CC <grad_cc@icomp.ufam.edu.br>, Grad_ES <Grad_ES@icomp.ufam.edu.br>

Caros alunos, bom dia.

Estou encaminhando mensagem referente a uma pesquisa de dois mestrados do PPGI, sobre usuários de dispositivos móveis (nós).
Por ajudem os dois ok.

Atenciosamente,
Prof. Eduardo Feitosa

----- Forwarded message -----

Boa Tarde,

Como parte da nossa pesquisa de mestrado no Program de Pós-graduação em Informática (PPGI/UFAM), estamos realizando um levantamento de informações sobre a localização de usuários que utilizam dispositivos móveis na UFAM, especificamente celular.
Desenvolvemos um aplicativo de coleta de dados que é composto por um questionário com perguntas fechadas e uma função de coleta de dados técnicos do celular importantes para o desenvolvimento da nossa pesquisa.
São eles:

- Que conexões são possíveis de serem realizadas pelo celular.
- Qual o nível da bateria em vários instantes de coleta.
- Qual é o espaço de memória disponível nos instantes de coleta.
- Latitude, longitude e hora no instante de cada coleta.

Todos os dados coletados serão feitos dentro do **território da UFAM** e **NÃO** teremos acesso a nenhum tipo de conteúdo pessoal do seu celular. Cada usuário que participar dessa coleta, poderá analisar todos os dados coletados antes de enviá-los. Além disso **você ganhará até 10 horas complementares por semestre** enquanto utilizar regularmente o aplicativo e enviar o arquivo coletado para o e-mail: coletadadosapp@gmail.com.

Informações Importantes:

- Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFAM e registrada na Plataforma Brasil sob o número 26775719.8.0000.5020.
- As eventuais dúvidas sobre a pesquisa poderão ser esclarecidas através do e-mail: info coletadados@gmail.com.

Atenciosamente:
Arlinton / Gilmar / Edjair

Você fará a diferença nessa pesquisa!

E então gostaria de participar? Acesse agora mesmo o **Manual do aplicativo** e em seguida baixe nosso **APP** através do site:

<https://sites.google.com/view/appcoletadados>