



Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Vinícius de Oliveira Civali – 206749

Curso: Engenharia de Controle e Automação – 49

**Metodologia de análise de presença de dispositivos
com Wi-Fi para estimar a demanda de passageiros dos
circulares internos da Unicamp**

Orientador: Prof. Dr. Madson Cortes de Almeida

Campinas – São Paulo

1º Semestre/2020



Duração:

18 meses

Entidades executoras:

Universidade Estadual de Campinas

CNPJ: 46.068.425/0001-33

FEEC/UNICAMP

Av. Albert Einstein, no. 400

13.083-852 - Campinas, SP - Brasil

Site: <http://www.unicamp.br/>

Contato: Vinícius de Oliveira Civali

e-mail: viniciuscivali@gmail.com





Agradecimentos

O autor gostaria de agradecer a CPFL, que através do projeto de P&D da ANEEL PD-00063-3043/2018, financiaram a execução deste projeto de IC, o que possibilitou seu desenvolvimento e enriquecimento de conhecimento.

Além, gostaria de agradecer parceiros e colegas que em conjunto de compartilhamento de ideias, sugestões e desenvolvimentos concomitantes ajudaram neste trabalho: Agradeço pela tutoria do professor Dr. Madson Cortes de Almeida, ao acompanhamento durante grande parte do projeto pelo doutorando Flávio Tonioli Mariotto, também ao mestrando Hernan Ullon Alcivar por sua grande ajuda em desenvolvimento em si, as ideias advindas da graduanda e aluna de iniciação científica Lara Falqueto Busato e ao parceiro de desenvolvimento graduando e aluno de iniciação científica Caio Vinicius Castro dos Santos.



Resumo

Este projeto busca encontrar soluções para o desenvolvimento de um laboratório vivo de mobilidade no sistema de transporte público da UNICAMP, buscando investigar os pontos e rotas de intensa utilização de acordo com dia e época do ano no campus. Objetivou-se entender o fluxo de passageiros intermediados pelos ônibus. Desta maneira foram desenvolvidas técnicas através de software e hardware em prol da proposta de identificar embarque, trajeto e desembarque de passageiros, a fim da construção de informativos a serem utilizados no melhoramento em disponibilização dos recursos, melhorando o serviço prestado.

Em busca da criação da matriz origem-destino dos passageiros, foi realizado a confecção de um software de detecção baseado em sinal Wi-Fi, visto que a presença do celulares aumentou, passando de 92,6% para 93,2% dos domicílios no Brasil, segundo PNAD Contínua TIC 2017 [1], o que indica uma boa base de aproximação de passageiros feita por seus respectivos aparelhos celulares, sendo amplificada por se tratar, inicialmente, de um meio universitário.

Sendo assim, foi concebido com a utilização de uma Esp-32, um “contador de passageiros” por detecção de smartphones, dentro do ônibus, por meio de sinal Wi-Fi, considerando o ponto de ônibus de embarque e desembarque e permanência no transporte, por captação das coordenadas GPS nas respectivas situações e horários, concretizando desta maneira a criação da matriz informativa origem-destino de passageiros por épocas do ano e horários do dia, desta forma, podendo ser usada em decisões futuras sobre as rotas e pontos no campus ao longo do tempo.



Abstract

This project seeks to reach solutions for development of a living mobility laboratory on the public transport from UNICAMP, attempting to accomplish the analyze the bus stops and routes with intense use according to day and time of year on campus. The objective was to understand the flow of passengers intermediated by buses. In this way, techniques were developed using software and hardware in support of the proposal to identify passenger boarding, route and disembarkation, in order to build information sheets to will be use to improve the availability of resources, improving the service provided.

In search of creating the origin-destination matrix of passengers, a detection software based on Wi-Fi signal was made, since the presence of cell phones increased, from 92.6% to 93.2% of households in the brazil, according to PNAD Continuous ICT 2017 [1], which indicates a good base of passenger approximate made by their respective cell phones, being amplified because it is, initially, a university environment.

Therefore, it was designed with the use of an Esp-32, a “passenger counter” for detecting smartphones, inside the bus, by means of a Wi-Fi signal, considering the embarkation and disembarkation bus stop and remained in transport , by capturing the GPS coordinates in situations and times, thus realizing the creation of the information source-destination matrix of passengers for times of the year and times of the day, thus, being able to be used in future decisions about routes and points in the campus over time.



Palavras-chave

Mobilidade urbana; Wi-Fi; demanda de passageiros

1. Lista de definições

[2] Probe request:

[3] MAC Address: Um endereço de controle de acesso à mídia de um dispositivo é um identificador único atribuído a uma interface de rede.

[4] System-on-a-chip: Refere-se a todos os componentes de um computador, ou qualquer outro sistema eletrônico, em um circuito integrado (chip). Ele pode conter funções digitais, analógicas, mistas e, muitas vezes, de Radiofrequência (RF), tudo em um sistema embarcado.

[5] Modo sniffer: Em rede de computadores, um analisador de pacotes (também conhecido como sniffer de pacotes, em português, farejador de pacotes) é um programa de computador ou hardware que pode interceptar e registrar tráfego que passa sobre uma rede digital ou parte de uma rede. Captura de pacotes é o processo de interceptação e registro de tráfego.



[6] Broadcast: Em telecomunicações e teoria da informação, broadcasting é um método de transferência de mensagem para todos os receptores simultaneamente.

2. Lista de figuras



[1] Roteador TP-Link TL-MR3020:

Primeiro hardware utilizado como plataforma de desenvolvimento.

[2] ESP 8266

Segundo hardware, módulo Serial-WiFi, utilizado como plataforma de desenvolvimento.

[3] ESP 32

Terceiro e fidedigno hardware utilizado como plataforma de desenvolvimento.

[4] Saída teste do algoritmo de captura

Saída provisório, utilizada pelos pesquisadores para controle e análise de coerência. Informações omitidas para não invasão de privacidades.

[5] Algoritmo de captura

Algoritmo de captura dos pacotes; **Strucut** representa o nó da árvore em que seus termos significam: **ID**: ; **MAC**: Endereço único de cama dispositivo Wi-Fi; **RSSI**: Intensidade do sinal Wi-Fi; **Channel**: Canal o qual o pacote foi capturado; **SSID**: Nome da rede; **DataIni**: Data de embarque; **HoraIni**: Horário de embarque; **LocalIni**: Coordenada GPS de embarque; **DataFin**: Data de desembarque; **HoraFin**: Horário de desembarque; **LocalFin**: Coordenada GPS de desembarque; **HoraAtz**: Horário da última atualização na importance; **Importance**: Variável de caracterização ode relevância do dispositivo;



[6] Algoritmo de filtragem

Algoritmo de filtragem de dispositivos; **HoraAt**: Horário atual; **HoraAtz**: Horário da última atualização de importância do nó; **AuxImp**: Número a definir de importância; **Vector**: Vector de ex passageiros; **PosVer**: Posição atual do vetor de pessoas que desceram; **ΔT** : Tempo a determinar, serve para verificar se a pessoa desceu do ônibus;

[7] Gráfico 1

Gráfico com os dados de captura, software (estimado) e empíricos (real), da linha 1 dos circulares internos da UNICMAP; Eixo **y** implica número de passageiros; Eixo **x** tempo decorrido em segundos.

[8] Gráfico 2

Gráfico com os dados de captura, software (estimado) e empíricos (real), da linha 2 dos circulares internos da UNICMAP; Eixo **y** implica número de passageiros; Eixo **x** tempo decorrido em segundos.



Sumário

1. Lista de definições	4
2. Lista de figuras	6
3. Histórico	9
4. Introdução	11
4.1. Motivação	12
4.2. Objetivos	13
4.2.1. Objetivos gerais	13
4.2.2. Objetivos específicos	14
5. Revisão bibliográfica	15
6. Metodologia	16
6.1. Algoritmo de captura	17
6.2. Algoritmo de filtragem	18
7. Procedimento experimental	19
8. Resultados e discussões	21
9. Bibliografia	24

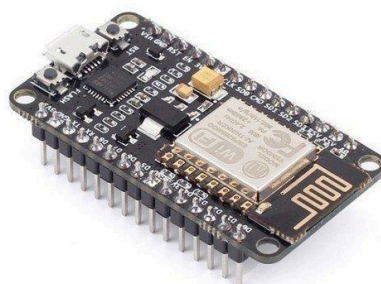
3. Histórico

O desenvolvimento deste trabalho foi cercado de uma pluralidade de métodos, por se tratar de um tema tecnológico sem uma grande discussão. Desta forma, a primeira compilação de ideias se pautou na análise algorítmica do problema, porém deixando em aberto a parcela de hardware. Em virtude dos fatos, a plataforma base do projeto passou por mudanças até seu estágio final, com início na tentativa de programação sobre sistemas embarcados.



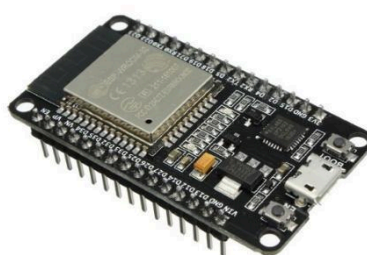
[1] Roteador TP-Link TL-MR3020

Assim sendo, a primeira plataforma pautada, roteador TP-Link TL-MR3020, foi considerada, visto que o mesmo apresenta um bom processador, grande armazenamento de dados, entrada USB para utilização de modularização, além de conter rede Wi-Fi própria. A utilização deste roteador foi problemática de início pela falta de informação sobre a instalação e utilização de um firmware, que em eletrônica e computação é uma classe específica de software de computador que fornece controle de baixo nível para o hardware específico do dispositivo, tendo informativos antigos, datados de 2011, o que dificultou demasiadamente o manejo de programas, dados e afins. Após dedicação de tempo e trabalho sobre esta plataforma, foi sinalizada a procura por alternativas.



[2] ESP 8266

Consequentemente, utilizando como lastro plataformas bem desenvolvidas, mesmo que menos potentes, iniciou-se o desenvolvimento sobre a placa ESP 8266, a qual carregava consigo um grande histórico de informações, o que sana os problemas prévios e cria alicerces para o início do desenvolvimento. Entretanto, esta placa não conta com um armazenamento e processamento melhores que a anterior, além de necessitar de um módulo externo para criação de uma rede Wi-Fi própria, característica necessária pra o projeto.



[3] ESP 32

Desta forma, chega-se ao hardware atual, a placa ESP 32, a qual foi escolhida por se tratar de uma “sucessora” da utilizada anteriormente, facilitando a migração e contendo melhores características e,



particularmente, uma rede Wi-Fi própria, retirando a necessidade de módulos.

4. Introdução

Tratando-se do planejamento de transportes, algumas variáveis importantes sempre circundam o momento da realização de projetos no âmbito, tais como qual a demanda de uma dada região e como equiparar está com a oferta, buscando um equilíbrio [2]. Em virtude dos fatos, um conjunto entre UNICAMP e CPFL, através do projeto de P&D da ANEEL PD-00063-3043/2018, financiou uma série de projetos de pesquisa que tangenciavam a inserção de ônibus elétricos em frotas de transporte urbano de massa no campus, tendo aqui a inserção deste trabalho.

Desta forma, este projeto busca conceber uma forma de captação da quantidade de passageiros que estão dentro do ônibus e além, identificando locais de embarque e desembarque, a fim da construção de uma matriz de origem-destino, contendo microrrotas dos passageiros, mostrando momento de embarque, trajeto e desembarque, tendo estas informações disponibilizadas por horário e dia do ano.

Esta captação de dados se baseia em princípio na questão de como identificar individualmente o usuário de forma anônima. Levando está primeira barreira em curso, após a análise do cenário o qual o projeto se desenvolve, ambiente universitário e, baseando-se na evolução tecnológica e no aumento dos smartphones no mercado, foi pautado a aproximação “um passageiro, um celular” [1], desta forma o projeto contém duas etapas: Um pré-processamento, detecção/identificação dos aparelhos celulares, embarque e desembarque do mesmo, data e hora, por intermédio do sinal Wi-Fi, sendo realizado dentro do ônibus em tempo real; E o pós-processamento, onde é feita a filtragem/tratamento da base de



dados gerado na primeira etapa, buscando a disponibilização destes dados de maneira assertiva e inteligível, sendo feita esta em um servidor.

4.1 Motivação

Este trabalho se pauta no desconhecimento da demanda de passageiros, dos ônibus circulares internos da UNICAMP, ao longo do tempo, que podem variar em períodos letivos ou em férias, por exemplo. Deste modo, por intermédio de uma abordagem técnica e inteligente busca-se sanar esse desconhecimento a fim de embasar as decisões futuras do transporte em dados coletados em tempo real, fornecendo a lotação, pontos de parada importantes para cada rota, em diferentes horários do dia e do ano.



4.2 Objetivos

4.2.1 Objetivos gerais

Estudo da troca de informações realizada entre dispositivos celulares e redes Wi-Fi, buscando interceptar os dados trocados para diferenciação dos smartphones oriundos de cada passageiro, a fim de contabiliza-los uma única vez assertivamente.

Desenvolvimento de estrutura de dados, a fim de organizar de maneira inteligente e hábil a base de dados gerada a partir dos celulares, horário, coordenadas GPS, buscando facilitar o pós-processamento no servidor.

Prática empírica, para contabilização dos passageiros feito em campo, a fim de confirmar contagem de passageiros do software com o real valor.

Estudo de transmissão de dados, buscando a comunicação plena entre dados coletas em tempo real, pré-processamento e, trabalho sobre a base de dados, pós-processamento, no servidor.

Desenvolvimento de código de filtragem/tratamento dos dados mantidos no servidor, buscando a melhor disponibilização dos mesmos, sendo a etapa final.



4.2.2 Objetivos específicos

Interceptar com êxito o pacote de dados trocado entre celular e rede Wi-Fi, probe request, um pacote especial enviado por uma estação cliente solicitando informações de um ponto de acesso específico, especificado por SSID, ou de todos os pontos de acesso na área, especificados com o SSID de transmissão. Há várias informações dentro deste pacote, que contêm dados inerentes do celular, assim como o seu endereço único, o MAC Address³, o que é usado para caracterizar a unicidade de cada smartphone/passageiro.

Desta maneira, com a captação do MAC Address³. Coordenada GPS, hora e data, estruturam os dados captados no pré-processamento, sendo feito no próprio hardware, ESP 32, para envia-los ao servidor.

Preparativos para segunda parcela, pós-processamento, realizar um grande acúmulo de base de dados com testes empíricos, realizados pelos desenvolvedores em campo, confirmando os dados capturados pelo software com os dados manufaturados.

Início do pós-processamento, estudo da transmissão via Wi-Fi do campos da UNICAMP para envio dos dados ao servidor.

Desenvolvimento do código Python de análise final, o qual realizará as análises de filtragem e tratamento para a disponibilização final dos dados, montando as matrizes origem-destino, objetivo final deste trabalho.



5. Revisão Bibliográfica

Um empecilho corriqueiro na área de desenvolvimento tecnológico

é a falta de informações, visto que geralmente se discutem e/ou trabalham com temas muito específicos, o que ocorre com o tema tratado. Desta maneira, a bibliografia utilizada, que se vale salientar, são uma gama de artigos relacionados tematicamente, de maneira a suprimir as necessidades cada qual com sua contribuição.

Concomitantemente, uma grande parcela dos artigos pesquisados aborda o tema de contabilização, detecção e formação de uma matriz origem destino dos passageiros, ou, artigos informativos da comunicação Wi-Fi, tendo em mente a formação da base de dados a fim de gerar melhorias no transporte.

Assim, como uma colcha de retalhos, ou seja, cada qual com seu método intrínseco de análise e apuramento, como nos artigos [3], [4] e [5], descrevendo a detecção sendo feita por intermédio da utilização de uma rede Wi-Fi proveniente de um circuito integrado, o qual varia de cada projeto, porém tem a mesma finalidade, detectar os pacotes enviados por cada celular, probe request², e, a partir destes, utilizar o endereço único de cada celular, MAC address³, contido no pacote



enviado pelos mesmos para caracterizar cada dispositivo e contabiliza-los.

Não só, mas também, outro artigo de grande valia, porém que não se trata de uma aplicação direta, [6], descreve o protocolo de comunicação Wi-Fi, que é de extreme interesse para o projeto.

Ademais, não foi salientado completamente a bibliografia utilizada durante toda a extensão do projeto, apenas as julgadas adequadas de serem citadas ao decorrer do texto.

6. Metodologia

Os dispositivos celulares fazem uma busca continua de pontos de acesso WI-FI por meio do envio de pacotes de dados em broadcast⁶ com a esperança de um destes serem captados por uma rede e devolvidos ao aparelho celular com as informações da rede específica.

Em virtude dos fatos, o método baseia-se na interceptação dos pacotes de busca de rede chamados “probe request²”, irradiados pelos dispositivos celulares no alcance do módulo contador de passageiros, em busca de redes Wi-Fi. Pacotes estes que contêm informações, como o endereço único que cada dispositivo com Wi-Fi possui, conhecido como “MAC address³”.

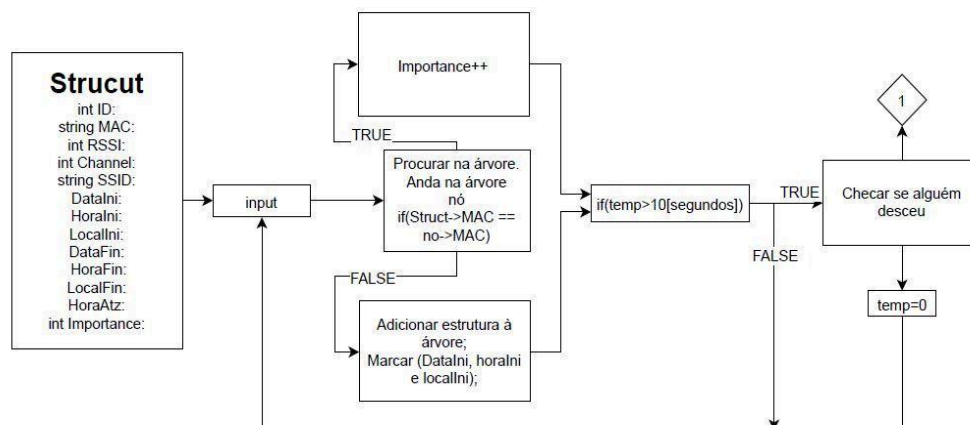
Assim, com a utilização de uma ESP32 (uma série de microcontroladores de baixo custo e baixo consumo de energia que também é um system-on-a-chip⁴ com microcontrolador integrado, Wi-Fi e Bluetooth) dentro do ônibus, utilizando o modo sniffer⁵, o qual intercepta pacotes com a própria rede da placa, é possível identificar quantos endereços diferentes estão no ônibus e contabilizá-los, valendo frisar a utilização de máscaras sobre os endereços originais dos dispositivos, a fim de preservar a identidade das pessoas.

```
No ônibus estão:
1. MAC: 14: [REDACTED] Cont: 2 RSSI: -70
2. MAC: c4: [REDACTED] Cont: 3 RSSI: -89
3. MAC: 80: [REDACTED] Cont: 2 RSSI: -87
4. MAC: f8: [REDACTED] Cont: 2 RSSI: -85
5. MAC: 40: [REDACTED] Cont: 2 RSSI: -53
6. MAC: d4: [REDACTED] Cont: 2 RSSI: -85
7. MAC: 60: [REDACTED] Cont: 2 RSSI: -57
8. MAC: 68: [REDACTED] Cont: 2 RSSI: -71
Total: 8 --- Timestamp: 90037
#-----#
```

[4] Saída teste do algoritmo de captura

6.1 Algoritmo de captura

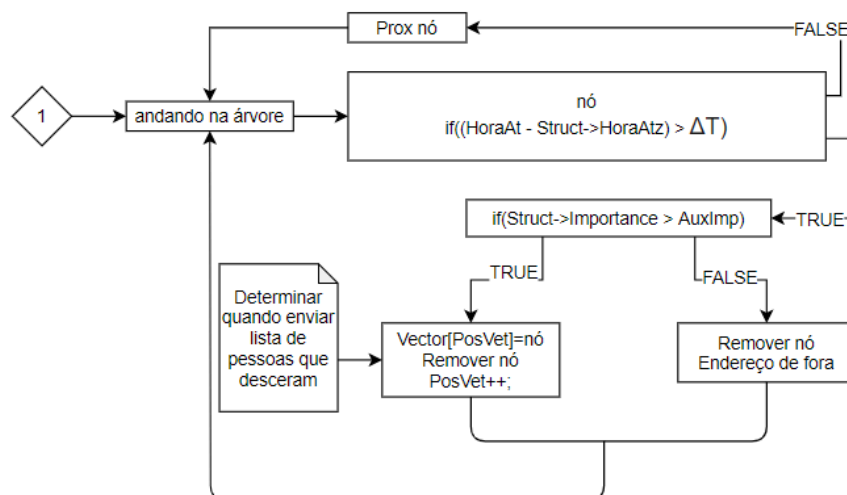
Em posse destes, o método de análise consiste em verificar se o endereço já está em uma lista, se estiver deve-se sinalizá-lo como possível passageiro incrementando uma variável de importância associada ao endereço em questão, caso contrário, deve-se adicionar o endereço conjuntamente com as coordenadas georreferencias, data e hora à lista, fazendo assim este processo até os endereços da última busca acabarem ou até que transcorra o tempo estipulado “temp” para ser feito a execução do algoritmo de filtragem, ao fim desta, iniciar uma nova busca.



[5] Algoritmo de captura

6.2 Algoritmo de filtragem

Com isso, há necessidade de efetuar algumas análises importantes, tais como, descartar dispositivos detectados que estão fora do ônibus. Logo, Ao se passar alguns ciclos de execução se um determinado endereço tiver baixo incremento em sua importância, então este é eliminado da lista, assim se consegue filtrar os reais passageiros, concomitantemente, quando um endereço não for mais captado, caso ele tivesse uma importância alta, deve-se considerar como um passageiro que desceu do ônibus e ser adicionado ao vero de ex passageiros "Vector". Desta maneira, poderá ser identificado a origem e o fim do trajeto do passageiro no interior do ônibus.



[6] Algoritmo de filtragem

7. Procedimento Experimental

A necessidade da realização dos testes sobre a metodologia levou a execução de muitos experimentos, inclusive na criação de uma base de dados capturados. Desta forma, após a confecção do primeiro algoritmo, figura [4], foi necessário testar a detecção do software em relação a aparelhos conhecidos, desta forma, com MAC address³ conhecidos, de dispositivos do laboratório.

Sendo assim, realizou-se o primeiro teste de captura, buscando entender como ocorre o escaneamento dos 14 canais de recepção de dados da rede Wi-Fi da ESP 32; quais dados estavam contidos no pacote interceptado, o probe request²; entender a captura de



dispositivos simultaneamente em múltiplos canais; armazenamento de dados máximo da placa para cálculo do momento correto para enviarmos os dados ao servidor, entre outras questões.

Em consequente, após a análise da primeira parcela do algoritmo, foi realizado as adaptações necessárias para o melhoramento do mesmo. Em segunda instância, os testes necessários para segundo parcela do algoritmo, figura [5], foram mais fáceis de detectar, entretanto mais custosos em relação ao tempo, visto que os testes com dispositivos conhecidos era limitador por se tratar de um ambiente limitado em número de dispositivos a serem capturados e além, pelo próprio comportamento espacialmente estático, dos dispositivos.

Em virtude, iniciou-se os testes realizados em campo, sendo feita a contabilização dos passageiros embarcados e desembarcados pelos próprios pesquisadores e checados com a captura do software principal mais tarde. Como em muitos casos a movimentação de passageiros era intensa, a depender do horário, foi criado um software auxiliar com input atualizado a cada parada do ônibus, contabilizando número de pessoas que embarcaram e desembarcaram já realizando o registro do horário, data, lotação total e identificação do ponto. Com essa ferramenta conseguiu-se a captação de dados mais precisos, o que iniciou a faze de criação de uma base de dados para melhorar o software principal.

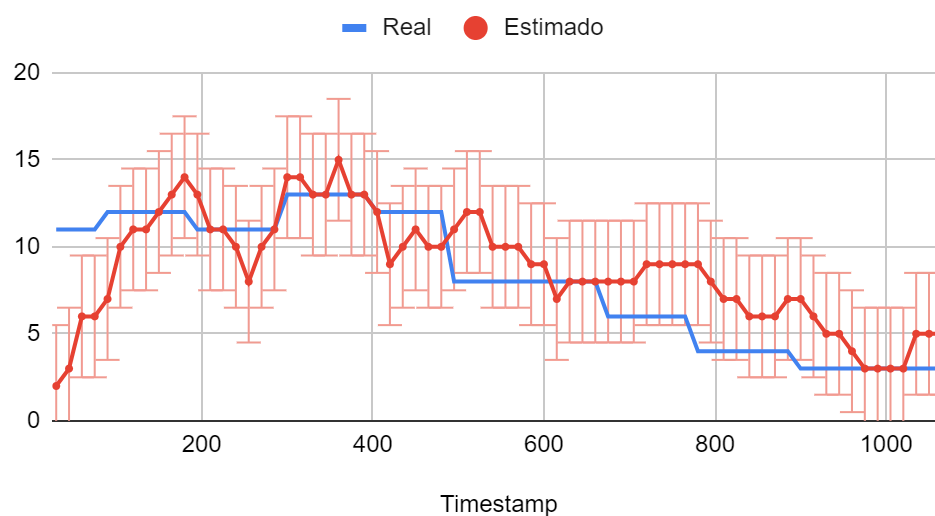
Os procedimentos finais foram a realização de testes incessantes em campo para criação da base de dados, etapa a qual foi interrompida pela pandemia do COVID-19.



8. Resultados e Discussões

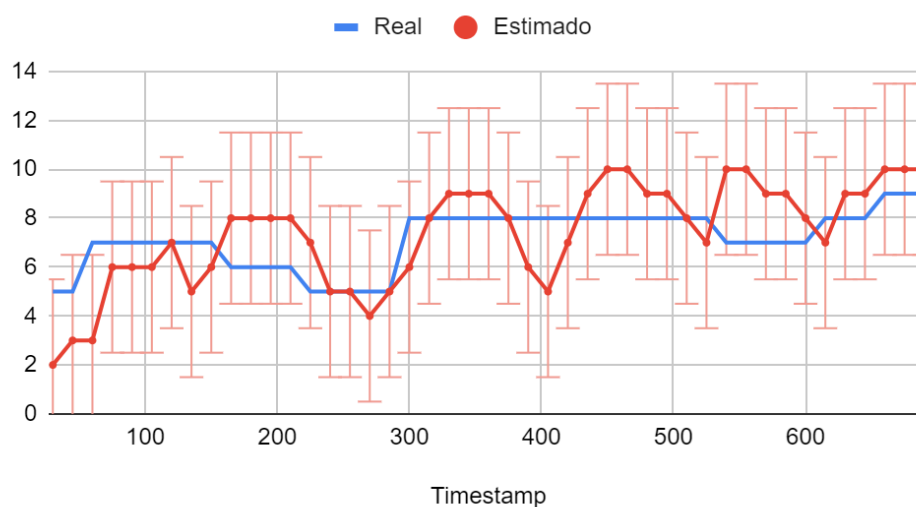
Durante a realização dos testes em campo, com a criação da base de dados em conjunto da contabilização empírica, realizada pelos pesquisadores com o software auxiliar, foi possível criar gráficos informativos, os quais ajudaram a entender o comportamento do algoritmo e serviram de base para melhoras e conclusões.

Teste 1 - Linhas



[7] Gráfico 1

Teste 2 - Linhas



[8] Gráfico 2

Desta forma, a partir dos gráficos, independentemente da linha analisada, visto que na UNICAMP há apenas duas linhas, o software segue aproximadamente o comportamento real, contabilizado empiricamente. Desta forma com base nesses testes notou-se alguns comportamentos intrínsecos do software, como: Atraso de captação no início; Porcentagem de acerto alto por lotação; Comportamento instável;



Ao se iniciar o teste em campo o algoritmo é iniciado dentro do ônibus, desta forma, começa seu trabalho de escaneamento dos canais Wi-Fi da ESP 32 em busca dos MACs³, entretanto, notou-se que os dados iniciais eram bem incertos em todos os testes realizados, o que foi contornado retirando o tempo de inicialização, diretamente no software, começando a captação após certo tempo decorrido, que foi sendo adequado de acordo com o feedback dos testes.

Notou-se também, que caso fosse utilizado uma tolerância, transformando os dados de saída em porcentagens da lotação, para o cálculo da mesma seria mais fidedigno a realidade.

Entretanto, o maior problema, que é o desafio, era a instabilidade do algoritmo em relação aos passageiros. Com as análises sobre os resultados dos testes foi notado variações do resultado estimado em torno do real, entretanto para os fins do projeto buscava-se uma detecção exata. Assim sendo, com a criação da base de dados concomitantemente com os resultados dos testes as constantes, salientados nas figuras [5], [6] e respectivas descrições, foram sendo melhoradas, sendo pautados os valores no feedback dos testes.

Desta forma, notou-se a necessidade do melhoramento dos valores das constantes de **Importance**, **AuxImp**, **ΔT** , (explicadas na descrição da figura [5] e 6) além de com qual frequência realizar a execução do algoritmo de filtragem.

Em busca de otimizar as variáveis estáticas a fim de melhorar o resultado final foi iniciado a criação de uma base de dados capturados, dados reais, a fim de criar simulações para o melhoramento do software. Desta forma começaram a serem feitos diversos testes de campo, momento atual do projeto, o qual foi pausado por conta de pandemia de COVID-19.



9. Bibliografia

- [1] “PNAD Contínua TIC 2017: Internet chega a três em cada quatro domicílios do país”, Agência IBGE notícias, 20/12/2018, Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23445-pnad-continua-tic-2017-internet-chega-a-tres-em-cada-quatro-do-micilios-do-pais>>. Acesso em: 02/09/2020



[2] Cristine Kneib, Erika; Cesar Marques da Silva, Paulo; “RELAÇÃO ENTRE DEMANDA E OFERTA DE TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO: UMA ANÁLISE ESTRATÉGICA UTILIZANDO SIG E ESTATÍSTICA ESPACIAL”.

[3] Paradedda D. B.; Junior W. K.; Carlson R. C. ESTIMATIVA DE EMBARQUE E DESEMBARQUE DE PASSAGEIROS POR DETECÇÃO DE SINAL DE Wi-Fi DE DISPOSITIVOS MÓVEIS. 2018, 988-1000.

[4] Handte, M.; Foell S.; Wagner S.; Kortuem G. e Marrón, P. J. An Internet-of-Things Enabled Connected Navigation System for Urban Bus Riders. IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, VOL. 3. 2016, 735-744.

[5] Tektronix. Wi-Fi: Overview of the 802.11 Physical Layer and Transmitter Measurements. 2016. Disponível em: <<https://www.tek.com/document/primer/wi-fi-overview-80211-physical-layer-and-transmitter-measurements>>. Acesso em: 07 fev. 2020.

[6] Marcos Roriz; O uso de sinais Wi-Fi para estimação de pares origem destino de usuários do transporte público em ônibus. Julho de 2018