

Wellington Di Tommaso Oliveira

**Proposta para automatização de semáforos
usando a estratégia de controle TUC para um
conjunto de cruzamentos subsequentes da
cidade de Manaus**

Manaus-AM
Dezembro-2014

Wellington Di Tommaso Oliveira

Proposta para automatização de semáforos usando a estratégia de controle TUC para um conjunto de cruzamentos subsequentes da cidade de Manaus

Dissertação submetida à Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos para a obtenção da graduação em Engenharia de Controle e Automação

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Departamento de Controle e Automação

Orientador M.Sc. Moisés Pereira Bastos

Manaus-AM
Dezembro-2014

Wellington Di Tommaso Oliveira

Proposta para automatização de semáforos usando a estratégia de controle TUC para um conjunto de cruzamentos subsequentes da cidade de Manaus

Dissertação submetida à Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos para a obtenção da graduação em Engenharia de Controle e Automação

Trabalho aprovado. Manaus-AM, 06 de Dezembro de 2014:

M.Sc. Moisés Pereira Bastos
Orientador

**Dr. Walter Andrés Vermehren
Valenzuela**
Professor

Dr. Israel Francisco Benitez Pina
Convidado 1

Dr. Luiz Delfin Rojas Puron
Convidado 2

Manaus-AM
Dezembro-2014

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Moisés Pereira Bastos pelo incentivo, paciência, dedicação e por acreditar no meu trabalho.

Aos meus pais Ali-Khan e Mariangela por darem suporte ao longo de todo meu curso, me apoiando e garantindo condições para eu focar em meus estudos.

Aos meus amigos de curso que sempre me ajudavam tirando dúvidas e compartilhando seus conhecimentos, auxiliando bastante durante o trabalho.

Ao Manaustrans por ter contribuído com dados gerados pelas suas pesquisas de campo.

À Julia por sua contribuição na organização e ajuda na elaboração da maquete.

À Stephanie com sua enorme ajuda na construção da maquete e com sua paciência me incentivar nos momentos difíceis.

E por fim mas não menos importante, à Universidade do Estado do Amazonas por proporcionar toda estrutura necessária e conhecimentos para realizar este trabalho.

Resumo

Com o passar dos anos, o trânsito nas cidades grandes se tornam cada vez mais intensos, com aumento do número de carros, enquanto estratégias de trânsito e estruturas viárias não se alteram. Esse trabalho mostra um estudo aplicado a uma malha viária com altos índices de engarrafamento de tráfego urbano na cidade de Manaus, baseando-se em estudos de caso para os atuais tempos semafóricos das vias e no fluxo autoveicular nos horários de pico onde o trânsito é intenso. Para o estudo desta malha, com os diversos cruzamentos subsequentes, foi realizado uma simulação utilizando o Software SUMO (System for Urban Mobility) com os dados obtidos a partir do estudo de caso, para a visualização do real estado da malha em horários críticos. Em contrapartida foi realizado também a simulação para o estado ideal de tempos semafóricos nessas mesmas horas críticas utilizando técnicas controle baseadas no modelo TUC(*Traffic-responsive Urban Control*), tais como controle de defasagem e controle de fluxo. E a partir disso propor um controle utilizando retroalimentação com auxílio de sensores para sincronização dos semáforos da malha para qualquer comportamento do fluxo que ela possuir.

Palavras-chaves: Simulação. SUMO. Tráfego Urbano. Controle de Defasagem.

Abstract

Over the years, urban traffic in big cities become increasingly intense, with the increasing of the number of cars, traffic strategies and road structures do not change. This work presents a study applied to a road network with high rates of urban traffic jam in the city of Manaus, based on case studies for current traffic signal times of the roads, and in autoveicular flow during peak hours where traffic is very intense. To study this network, with several subsequent crossings, a simulation was performed using the Software SUMO (System for Urban Mobility) with data obtained from the case study to visualize the actual condition of the mesh at critical times. In return was also conducted simulation for the ideal state of semaphore times in those critical hours using control techniques based on the TUC model, such as gap control and flow control. And from that propose using feedback control with the aid of sensors for synchronization of traffic lights mesh for any flow behavior it has.

Key-words: Simulation. SUMO (System for Urban Mobility). Urban traffic.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Configuração de duas interseções.	15
Figura 2 – Configuração de uma via.	15
Figura 3 – Configuração de um semáforo.	16
Figura 4 – Representação dos elementos de simulação do sistema no software SUMO.	16
Figura 5 – Arquitetura do Arduino Fonte: Erus (2012)	17
Figura 6 – Arduino Mega.	18
Figura 7 – <i>Software</i> IDE do Arduino.	19
Figura 8 – Via com fila.	21
Figura 9 – Trecho de estudo da Avenida Mário Ypiranga Monteiro	30
Figura 10 –Cruzamento Av. Mário Ypiranga com a Rua Salvador com as setas de movimentos.	31
Figura 11 –Distância entre os cruzamentos da malha.	34
Figura 12 –Sistema simulado com o funcionamento atual da malha.	35
Figura 13 –Diagrama de blocos do funcionamento da defasagem entre os semáforos.	37
Figura 14 –Sistema simulado com o funcionamento atual da malha.	38
Figura 15 –Botão interruptor universal.	39
Figura 16 –Localização dos sensores na via para o modelo proposto com compor- tamento dinâmico.	40
Figura 17 –Circuito para utilização de botões no arduino.	42
Figura 18 –Trecho da rotina da programação para declaração das variáveis para funcionamento proposto com comportamento estático.	43
Figura 19 –Trecho da programação com a rotina principal para execução do con- trole da malha com comportamento estático.	43
Figura 20 –Trecho de programação para o controle de defasagem proposto com comportamento dinâmico.	44
Figura 21 –Semáforo.	45
Figura 22 –Esquema elétrico contendo o circuito do semáforo com os três LEDs e o circuito do botão.	46
Figura 23 –Maquete.	47

Lista de tabelas

Tabela 1 – Classificação dos softwares quanto aos itens de instalação.	24
Tabela 2 – Classificação dos softwares quanto aos itens da malha viária.	24
Tabela 3 – Classificação dos softwares quanto aos itens de simulação.	25
Tabela 4 – Informações relativas as interseções na estratégia 1.	27
Tabela 5 – Informações relativas as vias na estratégia 1.	27
Tabela 6 – Informações relativas as interseções na estratégia 2.	27
Tabela 7 – Informações relativas as vias na estratégia 2.	28
Tabela 8 – Estudo do fluxo viário no cruzamento 1.	31
Tabela 9 – Fluxo equivalente a hora de pico em cada via para o cruzamento 1. . .	32
Tabela 10 – Tempos dos sinais de cada semáforo da malha viária de estudo.	32
Tabela 11 – Distância entre os cruzamentos da malha.	34
Tabela 12 – Tempos de abertura e fechamento de cada sinal em relação ao semáforo anterior, e em relação ao instante do ciclo.	37
Tabela 13 – Tempo de cada semáforos dos cruzamentos no sentido da Av. Mário Ypiranga.	37
Tabela 14 – Localização das distâncias dos sensores na Av. Mário Ypiranga.	40
Tabela 15 – Tempos de defasagem entre os cruzamentos para cada comportamento de cada cruzamento.	41

Sumário

Lista de ilustrações	6
Lista de tabelas	7
Sumário	8
1 Introdução	10
1.1 Formulação do Problema	11
1.2 Justificativa	11
1.3 Motivação	12
1.4 Objetivo	12
1.4.1 Geral	12
1.4.2 Específicos	12
1.5 Metodologia	12
1.6 Organização do trabalho	13
2 Referencial Teórico	14
2.1 SUMO	14
2.1.1 Característica de movimento	14
2.1.2 Construção de malhas viárias	15
2.1.3 Semáforos	15
2.1.4 Características de simulação	16
2.2 Microcontroladores	16
2.2.1 Arduino Mega	17
2.2.1.1 Energia	18
2.2.1.2 Entradas e saídas	18
2.2.1.3 Programação	18
2.3 Sensores	19
2.3.1 Sensor de peso	20
2.3.2 Sensor de laço indutivo	20
2.4 TUC	20
2.4.1 Controle de ciclo	20
2.4.2 Controle de defasagem	21
3 Trabalhos relacionados	23
3.1 Comparação entre <i>softwares</i> simuladores de trânsito	23

3.2	Uma Proposta para Síntese de Controle Realimentado dos Tempos de Verde em Redes de Tráfego Veicular Urbano	25
3.3	Semáforos de Trânsito Operando sobre Demanda de Fluxo	26
4	Metodologia	29
4.1	Malha Viária	29
4.2	Descrição do funcionamento atual da malha	30
4.3	Descrição do funcionamento da malha com o modelo proposto	33
4.4	Simulação	33
4.4.1	Simulação do funcionamento atual da malha	33
4.4.2	Simulação do funcionamento proposto para a malha	35
4.4.2.1	Comportamento estático	35
4.4.2.2	Comportamento dinâmico	38
4.5	Desenvolvimento do método proposto	41
4.5.1	Controlador central	42
4.5.1.1	Programação para comportamento estático	42
4.5.1.2	Programação para comportamento dinâmico	43
4.5.2	Elaboração da maquete	44
4.5.2.1	Semáforos	45
4.5.2.2	Esquema elétrico	45
4.5.2.3	Maquete	46
5	Conclusões	48
5.1	Trabalhos Futuros	49
	Referências	50
ANEXO A	Gerência de Indicadores do Sistema Viário - Rua Salvador x Av. Mário Ypiranga	53

1 Introdução

DE acordo com pesquisas realizada pelo Departamento Estadual de Trânsito do Amazonas (Detran/AM) há 562.729 veículos licenciados na capital do Amazonas até o mês de julho ano de 2012 (OSSAME, 2012). Ainda de acordo com o Detran/AM a quantidade de veículos tem uma média de crescimento entre 9% a 10% por ano, sendo a capital da Região Norte com a maior frota de veículos(D24AM, 2011),tendo então uma média de 670 mil automóveis cadastrados no início do ano de 2014.

Com uma frota cada vez maior e possuindo a maior de toda a Região Norte do país, o desconforto e insatisfação da população tende a crescer com o passar dos anos, tanto para aqueles que são usuários do transporte público da cidade quanto aos motoristas que possuem transporte pessoal. Tal situação gerou uma ação imediata do Detran/AM de colocar mais agentes de trânsito para controlar o fluxo manualmente e visivelmente, muitas vezes prejudicando um dos sentidos do trânsito.

De acordo com KRAUS e CARLSON (2012)nas décadas de 1980 e 1990 estudos sobre o controle de tráfego urbano se desenvolveram fortemente, utilizando de vários modelos de técnica de horizonte deslizante, entre eles estão OPAC (*Optimized Policies for Adaptive Control*), CRONOS (*ContROl of Networks by Optimization of Switchovers*) e o PRODYN. Todos os modelos utilizam de um grande esforço computacional relacionado no modelo de predição e o algoritmo de otimização, pois há uma grande combinação de matrizes de espaços e estados em intervalos curtos de tempo, baixo valor do tempo de amostragem. Nos anos 2000, o estudo de controle de tráfego teve um grande avanço com o desenvolvimento da estratégia TUC (*Traffic-responsive Urban Control*), que é baseada no modelo *store-and-forward*, que permite o sistema evitar o excesso de combinação de matrizes de espaços e estados e com tempo de amostragem a cada ciclo semafórico.

A estratégia de controle Semafórico TUC, trata o problema de desempenho de um sistema de tráfego quando se encontra em uma condição sobre-saturado, tendo então como objetivo a minimização e equilíbrio da quantidade de veículos nas vias de uma dada rede controlada (CERVANTES, 2005).

Onda Verde é um mecanismo desenvolvido na Alemanha, e é utilizada ao redor do mundo em muitos países. Esse mecanismo é um indicador que mostra a velocidade ideal que um veículo tem que trafegar ao longo de uma via com um gargalo muito grande de trânsito para que encontre apenas semáforos com sinal verde, conta também com a sincronização dos semáforos, baseado na distancia percorrida e velocidade sugerida para o cruzamento da via. O motorista sai de um cruzamento em uma avenida, e na medida em que se aproxima do cruzamento seguinte, o semáforo abre. O fenômeno se repete nos demais cruzamentos, permitindo que os veículos façam grande parte do trecho sem ter que parar (BOSSE, 2011).

Neste trabalho estuda-se o fluxo de intensidade de um conjunto de cruzamentos subsequentes da cidade de Manaus, a fim de fazer o controle desta malha. Para tanto será usado o mecanismo de controle de defasagem estudado na estratégia TUC, Onda Verde, propondo otimizar o desempenho da malha viária e reduzir os tempos de atraso e de jornada, além efetuar a sincronização dos semáforos da área de controle, permitindo que todos os veículos da via principal atravesse todo o seu percurso aproveitando apenas os sinais verdes dos semáforos a partir de uma velocidade constante de movimento sugerida, esta velocidade é calculada e estudada para o melhor desempenho da malha.

1.1 Formulação do Problema

Várias horas diárias são gastas no trânsito da cidade de Manaus por excesso do fluxo veículos e por uma falta de gerenciamento no controle do tráfego das principais vias e bairros da cidade, tanto para motoristas que possuem um transporte pessoal quanto para usuários do transporte público. Com o intuito de melhorar o fluxo automotivo nas principais vias, agentes de trânsito fazem o controle do tráfego manualmente sem qualquer estudo ou *feedback* de como está o fluxo de trânsito em todos os sentidos no exato momento, podendo se estender ainda mais as longas filas frequentadas pela população, gerando cada vez mais insatisfação e intenso desconforto dos mesmo.

Com isso percebe-se que é necessário um estudo da intensidade do fluxo automotivo de áreas específicas, áreas essas que possuam maior relevância para tráfego urbano. E com isso implementar um sistema inteligente com retroalimentação para melhorar a qualidade de vida da população manauara, com menor tempo gasto em filas de trânsito e conforto no transporte em horários críticos.

1.2 Justificativa

É notável o constante desconforto e insatisfação da população com o atual sistema de tráfego urbano, estatísticas mostram que com o passar dos anos o fluxo de carros tende crescer e com isso as longas filas de trânsito crescem da mesma forma, tornando o deslocamento urbano mais caótico. Automatizar o controle de cruzamentos de vias subsequentes de uma mesma malha, com uma alta intensidade de veículos transitando, especialmente em horários de pico, traria uma grande melhora na qualidade de vida da sociedade que utiliza a mesma malha viária. É uma grande oportunidade para aplicar conhecimentos desenvolvidos ao longo do curso de engenharia de controle e automação, como linguagem de programação, redes e microcontroladores, e também desenvolver um estudo relacionado a engenharia de tráfego.

1.3 Motivação

O trânsito na cidade de Manaus está passando por um momento caótico e longe de estar em um modelo ideal para uma qualidade de vida boa para sua população. Em vários pontos da cidade, em várias vias, o fluxo intenso gera grandes filas de trânsito causando atrasos no tempo de deslocamento, estresse e desconforto durante horas do dia a dia de cada cidadão que tem que passar por essas vias durante suas rotinas. Em países desenvolvidos há um grande investimento público para o controle e otimização das vias de grande fluxo de veículos, visando a qualidade de vida de sua população. Estudos aplicados a várias malhas viárias de Manaus e a otimização das mesmas traria grande benefício social.

1.4 Objetivo

1.4.1 Geral

Implementar uma estratégia de controle e a sincronização dos semáforos utilizando o mecanismo onda verde, para o desenvolvimento e simulação de um sistema de controle automatizado de semáforos de cruzamentos de vias subsequentes da cidade de Manaus em um software, montagem do circuito microcontrolado em maquete, utilizando o microcontrolador arduino e sensores, desenvolvida no laboratório da faculdade UEA / EST.

1.4.2 Específicos

- Pesquisar e estudar assuntos referentes a engenharia de trânsito.
- Definir e realizar o estudo da malha viária, cruzamentos de vias.
- Realizar aquisição de componentes de *hardware*.
- Desenvolver o sistema em um *software* e fazer uma simulação.
- Fazer uma projeção da malha e do sistema controlado em uma maquete.

1.5 Metodologia

Inicialmente serão realizadas pesquisas bibliográficas referentes aos tópicos de engenharia de trânsito como o método utilizado para o controle da malha, os sensores utilizados para detecção de carros nas vias, o microcontrolador usado para execução do programa de controle e o *software* de simulação de tráfego, com suas características e aplicações.

Em seguida será definida a malha que será controlada, e partir disto serão realizados estudos referente a malha viária para execução em um *software* de simulação. A partir dessa simulação obter análises do comportamento e do desempenho da mesma.

Com isso será aplicada a técnica de controle estudada para dois casos: comportamento estático e comportamento dinâmico. Para ambos os casos, a análise de desempenho e de parâmetros serão efetuadas com ajuda do *software* de simulação.

Após, será feita a aplicação do controle desenvolvido em um microcontrolador, utilizando linguagem de programação para execução do controle, de modo que sejam aplicados ambos os casos em um modelo acadêmico em forma de maquete para a visualização do sistema.

1.6 Organização do trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O Capítulo 1 aborda uma breve introdução sobre o desenvolvimento da engenharia de trânsito e a necessidade que grandes cidades encontram de otimizar suas avenidas e ruas que possuem grande intensidade de fluxo automotivo, isso se dá devido ao crescente aumento do número de carros em tais cidades.

Em seguida no Capítulo 2 terá o referencial teórico, onde é tratada a fundamentação do trabalho, descrevendo os assuntos abordados ao decorrer desta obra.

O Capítulo 3 contará com os trabalhos relacionados, dissertação sobre trabalhos realizados por outros autores que foram essenciais para o desenvolvimento do presente trabalho.

No Capítulo 4 descreve como foi realizado o projeto. É composto pelo estudo e definição da malha viária, simulações para análise da mesma, e aplicação do controle proposto. Também descreve a elaboração de um modelo da malha em forma de maquete utilizando microcontrolador, LEDs, resistores e chaves para a visualização do sistema. E para análise da proposta, foram executadas outras simulações utilizando o *software* SUMO.

E, por fim, no Capítulo 5 serão discutidos os resultados obtidos e a realização das considerações finais sobre o projeto, além das propostas para trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico

PARA fundamentação do estudo realizado, diversos aspectos teóricos foram levantados para abordagem do tema, como a estratégia de controle aplicada, o programa computacional usado para visualização da malha e modelagem do mesmo, e os tópicos relacionados a automação do sistema como microcontroladores e sensores utilizados para retroalimentação da malha.

2.1 SUMO

O SUMO, *System for Urban Mobility*, é um software simulador de trânsito, foi projetado no Instituto de Sistemas de Transporte e possui um código aberto. É um simulador microscópico de trânsito, e utiliza um modelo de passos discretos de tempo de 1s, permitindo simular em tempo real de 100.000 a 200.000 veículos em um computador pessoal de mesa, incluindo a simulação dos semáforos, regras de trânsito e movimentos de mudança de faixa pelos veículos. Sua utilização se dá através de linhas de comando e suas entradas e saídas são realizadas diretamente em arquivos XML. Possui três objetivos básicos que são: pouco consumo de memória, facilidade em estender a aplicação e velocidade nas simulações, para isso o mesmo não apresenta uma interface gráfica para a construção topológica da malha viária (HALLMANN, 2011).

Para a construção de uma malha viária completa utiliza-se um arquivo contendo as informações de cada interseção da via e outro arquivo com as vias interligadas, após a configuração dos arquivos a ferramenta *NETCONVERT*, que acompanha o *software* gera um arquivo na linguagem do SUMO. Essa ferramenta também é responsável pela a importação de modelos prontos de outros simuladores (HALLMANN, 2011).

2.1.1 Característica de movimento

Para a característica de movimento do simulador foi utilizado um modelo proposto por Kraub, *car-following*, que executa o movimento longitudinal e está baseado na distância que o carro perseguidor, o EGO, precisa parar atrás do veículo seguinte, o LÍDER, sem colidir com este, além de considerar o tempo de reação e a desaceleração do EGO para garantir um comportamento livre de colisões (BARCELÓ, 2010).

Outro modelo aplicado e o *lane-changing*, onde inicialmente só era abordado a decisão tática, baseia-se na ideia que o motorista deseja dirigir o mais rápido possível, porém esse modelo vem evoluindo desde que o SUMO foi lançado (HALLMANN, 2011). Para a implementação desse comportamento, o modelo computa um caminho válido através da malha viária, examinando a faixa onde o veículo se encontra e as de sua proximidade,

para que a distância da posição na qual a rota não pode ser continuada, deve ser menor que uma distância assumida para a troca de faixa. E para modelar a vontade do motorista se deslocar o mais rápido possível, o comportamento do motorista armazena a cada intervalo de tempo os benefícios de trocar de faixa, onde esse benefício é a diferença entre a velocidade segura na faixa atual e na faixa vizinha, dividida pela velocidade máxima que o veículo pode utilizar em condições de fluxo livre, então se o valor absoluto da memória armazenada é maior que um determinado limite e se existe espaço na faixa desejada (BARCELÓ, 2010).

Este modelo se comporta bem em cenários urbanos e rodovias rápidas.

2.1.2 Construção de malhas viárias

O SUMO possui uma ferramenta chamada *NETCONVERT*, que possui a principal forma de construir a malha viária no software, que se dá através de importação de modelos de outros simuladores, sendo alguns deles o *VISUM*, *TIGER*, e a importação de sites de mapeamento, como por exemplo o *OpenStreetMap* que é um projeto de mapeamento colaborativo, onde os mapas são criados usando dados de receptores GPS portáteis, fotografias aéreas e outras fontes livres. Tanto as imagens obtidas por processamento dos dados e os dados estão disponíveis sob uma licença *Open Database License*.

Para a construção da malha viária, a simulação se origina com basicamente dois arquivos: um contendo todas as interseções da malha, exemplificado na figura 1, e outro ligando essas interseções, comando ilustrado na figura 2, dando origem as vias. Esses arquivos são entradas do tipo XML, com as quais o *NETCONVERT* converte para um arquivo de saída, também do tipo XML, contendo toda a estrutura da malha.

```
<nodes>
  <node id="p1" x="200" y="-40" />
  <node id="p2" x="-147" y="-30" />
```

Figura 1 – Configuração de duas interseções.

```
<edges>
  <edge from="p1" id="1to2" to="p2" />
```

Figura 2 – Configuração de uma via.

2.1.3 Semáforos

Para o controle de tráfego, a inserção de um semáforo de controle simples pode ser inserido no *software* SUMO editando um dos arquivos de entrada do tipo XML, o arquivo

que trata das interseções, colocando o comando *traffic_light* na interseção que o semáforo deve ser inserido, como mostra a figura 3.

```
<nodes>
  <node id="p1" x="200" y="-40" />
  <node id="p2" x="-147" y="-30" type="traffic_light" />
```

Figura 3 – Configuração de um semáforo.

2.1.4 Características de simulação

Para a visualização do sistema é adotado que os veículos amarelos do tamanho pequeno são os carros de uso particular, os veículos vermelhos de tamanho pequeno são os transportes públicos de tarifa alta, táxi, e os veículos amarelos de tamanho grande são os transportes público com tarifa baixa, ônibus. Os semáforos são representados por linhas coloridas, cada cor representa a característica do sinal (verde, amarelo e vermelho), se situam no limite da via com o cruzamento. O tempo de simulação é apresentado no *layout* do programa como ilustrado na figura 4.

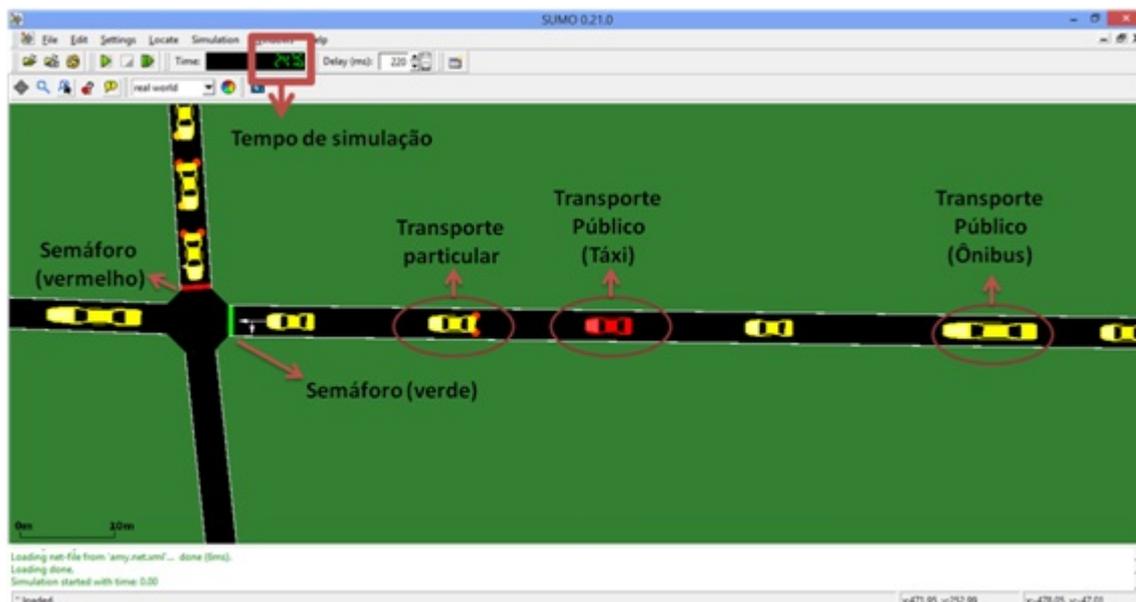


Figura 4 – Representação dos elementos de simulação do sistema no software SUMO.

2.2 Microcontroladores

Os microcontroladores são usados para controlar circuitos. Eles são embarcados no interior de algum outro dispositivo para que possam controlar as funções ou ações do produto. São comumente comparados e confundidos com microprocessadores. Os microcontroladores além de possuírem os componentes lógicos e aritméticos que um micropro-

cessador de uso geral possui, eles integram elementos adicionais a sua estrutura interna, como memória de leitura e escrita para armazenamento de dados, memória somente de leitura para armazenamento de programas, dispositivos periféricos como conversores analógico/digital (ADC), conversores digital/analogico (DAC), portas de entradas e saídas analógicas e digitais (I/O) .

2.2.1 Arduino Mega

O Arduino é uma plataforma de protótipo eletrônica que possibilita o desenvolvimento de controle de sistemas interativos. Seus materiais, *software* e *hardware*, são *open-source*, significa que sua utilização não tem necessidade de pagamento de direitos autorais (ERUS, 2012). Possui uma arquitetura simples mostrada na figura 5.



Figura 5 – Arquitetura do Arduino Fonte: Erus (2012)

Fonte: ERUS (2012)

O Arduino Mega é uma placa baseada no microcontrolador ATmega1280. Possui 54 portas digitais, pinos de entrada e saída, sendo que 14 deles podem ser usados como saídas PMW, 16 entradas analógicas, 4 portas seriais de hardware, oscilador crystal de 16 MHz, conexão via USB. Sua voltagem de operação é de 5V, e é recomendado como voltagem de entrada de 7V até 12V e o limites são de 6V e 20V, possui memória *flash* de 128 KB, a velocidade do clock é de 16MHz (ARDUINO, 2014a). A placa do Arduino Mega é representada na figura 6.

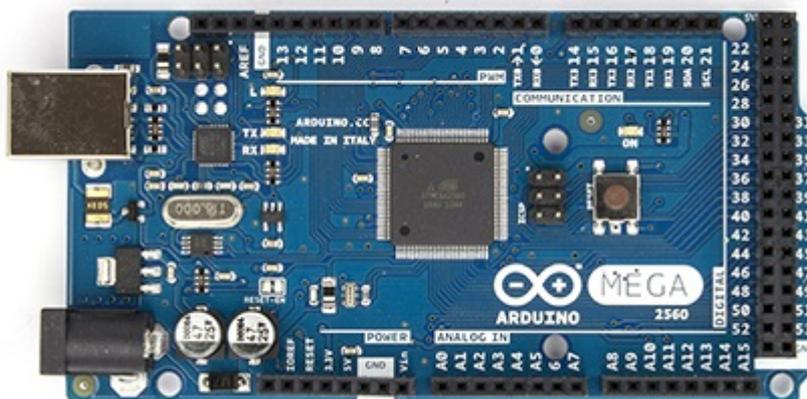


Figura 6 – Arduino Mega.

Fonte:Arduino (2014a)

2.2.1.1 Energia

O Arduino Mega pode ser energizado por uma conexão via USB ou por uma fonte de energia externa. A fonte externa pode ser tanto uma bateria quanto um adaptador AC para DC (ARDUINO, 2014a).

Os pinos de energia são:

- VIN: É o pino de entrada de tensão para a placa do Arduino quando está sendo usada uma fonte de alimentação externa.
- 5V: Usado como fonte de energia para ligar o microcontrolador e outros componentes na placa. Pode ser alimentado tanto do VIN ou pelo USB.
- 3V3: Fonte de 3.3 V gerada pelo chip FTDI integrado na placa. Máxima corrente drenada é de 50 mA.
- GND: Pinos de aterramento.

2.2.1.2 Entradas e saídas

Os pinos operam a 5V, cada pino pode prover ou receber uma corrente máxima de 40 mA e tem um resistor interno de 20 a 50 kOhms. Eles podem ser utilizados como entradas ou saídas, usando algumas funções para isso, tais como: *pinMode()*, *digitalWrite()* e *digitalRead()*.

2.2.1.3 Programação

O Arduino Mega pode ser programado com o *software* do Arduino, os programas podem ser divididos em três partes principais, sendo elas:

- Estrutura (estruturas de controle, operações aritméticas, operadores de comparação, operadores Booleanos).
- Valores (constantes, tipos de dados, conversão).

- Funções (entradas e saídas digitais, entradas e saídas analógicas, funções matemáticas, funções trigonométricas, *bits* e *bytes*, comunicação).

A programação é baseada em linguagem C, porém de forma mais simples, o *software* é *open source*, ou seja possui o código aberto sendo um *software* livre, e está disponível para Windows, Linux e MAC OS(*Mac Operation System*).

Possui uma IDE (*Integrated Development Enviroment*) simples e didática facilitando a programação do usuário. A IDE do Arduino é representada na figura 7.

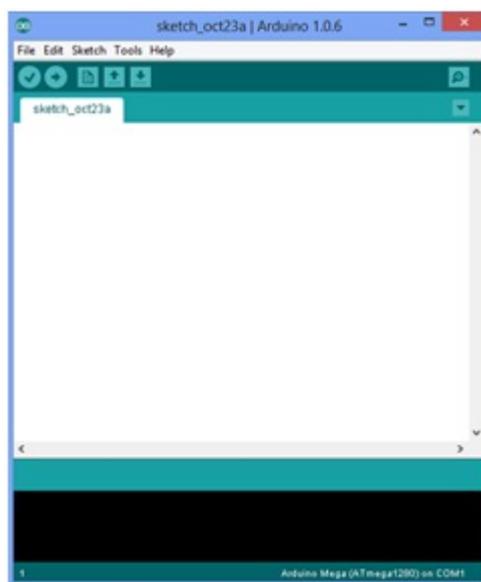


Figura 7 – *Software* IDE do Arduino.

2.3 Sensores

Na eletrônica os sensores são componentes ou circuitos eletrônicos que permitem a análise de uma determinada condição do ambiente, essas condições podem ser simples, como a temperatura, ou uma condição mais complexa como a rotação de um motor. Os sensores podem ser classificados como um tipo de transdutor, ou seja um componente que transforma um tipo de energia em outro, ele capta algum tipo de energia (luz, calor, movimento) e a transforma em energia elétrica, utilizada para a leitura de alguma condição ou característica do ambiente.

Há dois tipos de sensores, sendo eles: sensores analógicos e sensores digitais. Esta divisão é feita de acordo com a forma que o componente responde à variação da condição. Os sensores analógicos são os mais comuns, eles se baseiam em sinais analógicos que mesmo limitados entre dois valores de tensão, podem assumir infinitos valores intermediários. Já os digitais se baseiam em níveis de tensão bem definidos sendo alto (correspondente a 1) ou baixo (correspondente a 0) (PATSKO, 2006).

Um detector situado na via está embutido no pavimento ou está preso na superfície da via, como por exemplo o detector de tubo pneumático (ADMINISTRATION, 2006).

2.3.1 Sensor de peso

Sensores de peso são sensores resistivos de fácil aplicação, através deles é possível medir o peso de algum objeto ou a força aplicada sobre eles. Podem ser construídos de diversas formas, mas os modelos mais comuns e utilização mais simples são os resistivos, e seu princípio de funcionamento é: quanto maior a força aplicada sobre eles, menor será a resistência entre seus terminais. Também são conhecidos como sensores de pressão ou sensores de força (PATSKO, 2006).

2.3.2 Sensor de laço indutivo

Sensor utilizado comumente na detecção de veículos sensível à variação da permeabilidade magnética nas suas proximidades. Esta variação ocorre quando um veículo se aproxima dele, pois o campo indutivo gerado pelo laço passa pelas partes metálicas do veículo absorvendo parte da energia gerada (DNIT, 2007).

2.4 TUC

A estratégia TUC foi desenvolvida de maneira a prover controle de tráfego em tempo-real coordenado em grandes redes urbanas até mesmo em condições de tráfego saturado. Este objetivo é atingido por meio de ferramentas metodológicas que permitem a aplicação em redes de larga escala. O controle está dividido nas seguintes partes principais (DIETRICH, 2009):

- Controle de porcentagens de verde: Minimização do risco de sobressaturação e bloqueio de interseções por fila em interseções.
- Controle de ciclo: É efetuado através de um algoritmo baseado em realimentação, que modifica o tempo de ciclo de maneira a adaptar a duração deste ao nível máximo de saturação observado na rede.
- Controle de defasagem: É aplicado através de uma lei de controle descentralizada que modifica a defasagem dos estágios principais de interseções sucessivas, ao longo das vias, de maneira a criar ondas verdes.

2.4.1 Controle de ciclo

O controle de ciclo da semaforização de um sistema viário possibilita o aumento da capacidade das interseções já que ao aumentar o tempo de ciclo os tempos perdidos, que são constantes, ficam proporcionalmente menores do que o tempo de verde efetivo. Para

permitir a coordenação da defasagem entre as interseções, o tempo de ciclo é único para todas elas (DIETRICH, 2009).

2.4.2 Controle de defasagem

Em outras literaturas o controle de defasagem é mais conhecido como Onda Verde.

Segundo DIETRICH (2009) este controle é utilizado para permitir que os veículos que trafegam na via, se transitarem a uma velocidade nominal, poderão encontrar semáforos sincronizados, verdes durante todo o trajeto. A Onda Verde é baseada nas seguintes suposições:

- A defasagem é especificada para vias de mão única que não se interceptam.
- No caso de vias de mão dupla, uma defasagem é especificada para cada direção, e a defasagem implementada será a média ponderada das defasagens nas duas direções.
- No caso de vias que se interceptam, o TUC considera uma ordem de prioridade que é pré-especificada na configuração da defasagem e o controle é implementado de forma sequencial começando com a via de maior prioridade.

Para a defasagem de duas interseções sucessivas mostrada na figura 8 $J1$ e $J2$ na via z que as conecta, no sentido $J1$ para $J2$, com o comprimento da via igual a l_z , e a velocidade V_z e o carregamento da via σ_z . O comprimento da fila representado na parte cinza da figura 8 é aproximadamente igual ao produto do carregamento da via com o seu comprimento, ou seja $\sigma_z \cdot l_z$. Enquanto o número de veículos for igual a zero, o tempo de defasagem entre as duas interseções deve ser igual a razão do comprimento da via pela velocidade nominal da via, l_z/V_z . A medida que o número de veículos na via z cresce, a defasagem deve decrescer de maneira a permitir um descarregamento parcial da fila que se forma na via. Ou seja o tempo da defasagem tem que ser menor que os carros que estão presente na fila formada na interseção $J2$ comecem a andar antes que os carros vindos da interseção $J1$ parem no final da fila formada pela interseção $J2$.

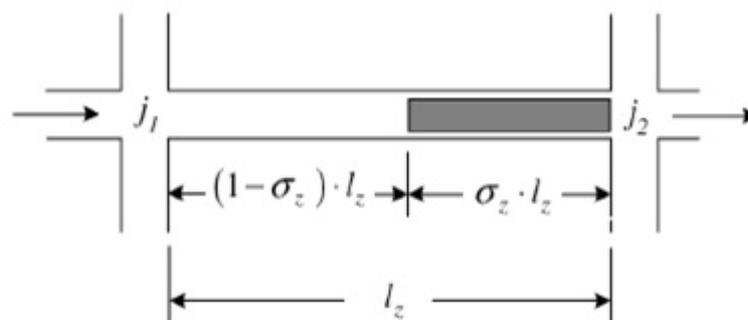


Figura 8 – Via com fila.

Fonte: DIETRICH (2009).

O carregamento de uma via é a razão entre o fluxo de veículos em uma via e o fluxo de saturação desta. Porém uma estimação com a utilização de sensores pode ser dada por:

$$\theta = \frac{T_d}{T_t}$$

onde T_d é o tempo em que há detecção e o T_t é o tempo total de observação, então o θ é a estimativa utilizada normalmente nas técnicas de controle em tempo real.

3 Trabalhos relacionados

NA área da engenharia de tráfego urbano, vários estudos são desenvolvidos ao longo dos anos envolvendo novas técnicas de controle realimentado com o objetivo de gerar melhor fluidez no deslocamento urbano. Para isso são desenvolvidos e estudados vários programas computacionais para visualização de sistemas e aplicações de controle das malhas viárias, além de novos métodos de detecção do comportamento dos sistemas.

3.1 Comparação entre *softwares* simuladores de trânsito

Segundo o trabalho HALLMANN (2011), os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) se valem do uso de tecnologia de informação para realizar gerenciamento de controle de sistemas de transporte, e os softwares simuladores de trânsito são ferramentas muito úteis e importantes para esse gerenciamento de controle. Com isso o objetivo de sua obra foi analisar quatro softwares, são eles: AIMSUM (*Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks*), VISSIM (*Verkehr In Städten - SIMulations modell*), SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) e ITSUMO (*Intelligent Transportation System for Urban Mobility*).

Foram avaliados e analisados aspectos para comparação entre esses *softwares*, como a instalação do programa, a elaboração da malha viária, a atribuição de tráfego, simulação visual e aspectos gerais.

O programa SUMO foi projetado pelo Instituto de Sistemas de Transporte, e o ITSUMO foi desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ambos possuem o código aberto. Já o VISSIM e o AIMSUM possuem licenças pagas e foram desenvolvidos pelas empresas privadas PTV (*Traffic Mobility Logistics*) e TSS (*Transport Simulation Systems*), respectivamente.

O SUMO possui disponibilidade em sistemas baseados em Linux, sistemas baseados em Mac, e existe também compatibilidade com o sistema operacional Windows. O ITSUMO roda em Linux, Ubuntu, Fedora e OpenSuse 11. O AIMSUM possui suporte ao sistema operacional Windows, nas versões XP, Vista e 7, pode ser utilizado também nos sistemas Mac, e para Linux na versão Ubuntu 10.04. Enquanto o VISSIM está plenamente adaptado para o Windows, versões XP, Vista e 7.

HALLMANN (2011) faz comparações entre os quatro softwares em diversos itens, entre eles estão:

1. Procedimentos de instalação do programa;
2. Elaboração da malha viária;

3. Característica da simulação.

Para o item procedimentos de instalação do programa, Hallmann analisou alguns tópicos como: sistema operacional, licença, requisito mínimo para instalação, documentação, banco de dados e idiomas. Classificou os programas conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos softwares quanto aos itens de instalação.

Fonte: HALLMANN (2011).

Crítér. \ Simul	SUMO	ITSUMO	AIMSUM	VISSIM
Síst. Oper.	Bom	Regular	Ótimo	Regular
Licença	Ótimo	Ótimo	Regular	Regular
Req. Mín.	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Docum.	Bom	Regular	Ótimo	Ótimo
Banco de Dados	Ruim	Ruim	Bom	Bom
Idiomas	Regular	Regular	Ótimo	Bom

No item elaboração da malha viária os pontos analisados foram importação, interface, ferramentas do *software*, interseções sinalizadas e interseções não sinalizadas, a sua classificação está representada na tabela 2.

Tabela 2 – Classificação dos softwares quanto aos itens da malha viária.

Fonte: HALLMANN (2011).

Crítér. \ Simul	SUMO	ITSUMO	AIMSUN	VISSIM
Importar	Bom	Ruim	Bom	Regular
Interface	Ruim	Regular	Ótimo	Ótimo
Ferramentas	Regular	Regular	Ótimo	Ótimo
Interseções não sinalizadas	Bom	Regular	Ótimo	Ótimo
Interseções sinalizadas	Bom	Bom	Bom	Bom

Em características de simulação Hallmann analisa os pontos: Interface, ferramentas e simulação de acidentes, apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos softwares quanto aos itens de simulação.

Fonte: HALLMANN (2011).

Criter. \ Simul	SUMO	ITSUMO	AIMSUN	VISSIM
Interface	Bom	Regular	Ótimo	Ótimo
Ferramentas	Regular	Ruim	Ótimo	Ótimo
Acidentes	Regular	Regular	Regular	Regular

Nos pontos mostrados pelo Hallmann em suas análises de comparação entre *softwares*. O SUMO apresenta boas características para desenvolvimento, pecando apenas em relação ao seu banco de dados e a interface que o programa apresenta para tratar as malhas viárias simuladas.

3.2 Uma Proposta para Síntese de Controle Realimentado dos Tempos de Verde em Redes de Tráfego Veicular Urbano

O trabalho realizado por DIETRICH (2009) apresenta um estudo da estratégia de controle *Traffic-responsive Urban Control* (TUC), uma estratégia recentemente desenvolvida e que ele afirma apresentar bons resultados práticos quando comparada a outras estratégias de tempo real, Dietrich explora alguns aspectos dinâmicos da estratégia TUC, como o fenômeno de oscilações dos sinais de controle da estratégia mesmo na ausência de variações nos volumes de tráfego, chamadas de flutuações. Para eliminar essas flutuações o autor propõe uma estratégia de controle de tempos de verde diferente da sugerida pela estratégia TUC.

Foi mostrada a proposta de controle TUC e as suas características de funcionamento. Também foram apresentados conceitos de simulação como macro e microsimulação, seguimento de veículos (*car-following*) para compreender o funcionamento do simulador AIMSUN, com o qual foram realizados experimentos e análises de desempenho das estratégias de controle.

Devido as vantagens da estratégia TUC, a mesma tem sido amplamente estudada e pesquisada. Foi observado por Dietrich que o controlador induzia perturbações que geraram oscilações constantes e permanentes na malha, sem mostrar tendência para dissiparem-se, estes resultados foram obtidos através de simulações em um contexto determinístico, ou

seja o comportamento dos veículos e conhecido e constante, as rotas de cada veículo é conhecida e pré-determinadas e as chegadas destes se dão sempre com o mesmo intervalo de tempo entre eles.

Então uma nova proposta foi desenvolvida para a estruturação de uma matriz de realimentação de controle que segue um procedimento sistematizado, no qual é possível definir os pesos utilizados na matriz através de uma inspeção da arquitetura da malha sem necessitar de ajustes posteriores. Dependendo apenas da análise topológica da rede e de parâmetros obtidos em campo.

Para ambas as estratégias o autor obteve resultados de desempenho parecidos, porém nos casos pouco mais saturados a estratégia proposta por ele, o índice de desempenho da malha e o tempo de atraso foram 8% mais eficientes.

3.3 Semáforos de Trânsito Operando sobre Demanda de Fluxo

O projeto de FILHO (2009) visa desenvolver um sistema de controle semafórico atuando sob a demanda de fluxo da malha viária de uma Avenida escolhida pelo próprio autor, com a finalidade de simular o controle semafórico obtendo estatísticas de controle como o tempo de verde a ser aplicado às interseções da malha, o sistema retorna parâmetros de avaliação do controle como o atraso veicular e o número de paradas de cada via.

Em seu trabalho FILHO (2009) simula duas estratégias de controle semafórico, uma fundamentada em tempos fixos beados no *software* TRANSYT, que considera a malha viária como um conjunto, e a outra se dá através da temporização de semáforos isolados obtida com o método de Webster.

Após essas simulações o programa é implementado em linguagem de programação Java, utilizando o *software* Eclipse.

A malha representa um trecho da Av. Senador Salgado Filho na cidade de Natal. Os valores de temporização calculados puderam ser aplicados à malha viária, possibilitando saber os parâmetros de avaliação da estratégia, como atrasos das vias e o número de paradas. Esses valores são apresentados na tabela 4 e na tabela 5.

Para o caso da estratégia 1, a temporização aplicada às três interseções foi a mesma, e o valor de defasagem é igual a zero para todas as interseções. Isto ocorre pois essa estratégia só leva em consideração a interseção isoladamente, sendo assim a defasagem não é um parâmetro que não é calculado por esta técnica.

Tabela 4 – Informações relativas as interseções na estratégia 1.

Fonte: FILHO (2009).

Interseção	Defasagem	Duração dos Intervalos		
		Verde	Amarelo	Vermelho
Av. Salgado Filho × Av. Antônio Basilio	0	42	4	31
Av. Salgado Filho × Av. Nascimento de Castro	0	42	4	31
Av. Salgado Filho × Av. Amintas Barros	0	42	4	31

Tabela 5 – Informações relativas as vias na estratégia 1.

Fonte: FILHO (2009).

Arestas	Atraso	Número de paradas
1	11.068478	537.3052
2	11.068476	483.57468
3	17.077078	381.76947
4	17.077078	381.76947
5	11.068478	537.3052
6	11.068476	483.57468
7	17.077078	381.76947
8	17.077078	381.76947
9	11.068478	537.3052
10	11.068476	483.57468
11	17.077078	381.76947
12	17.077078	381.76947
Total	168.87332	5353.257
<i>PI</i>		5532.5

Os resultados para a segunda estratégia aplicada a mesma malha viária está representado na tabela 6 e na tabela 7.

Tabela 6 – Informações relativas as interseções na estratégia 2.

Fonte: FILHO (2009).

Interseção	Defasagem	Duração dos Intervalos		
		Verde	Amarelo	Vermelho
Av. Salgado Filho × Av. Antônio Basilio	0	52	4	21
Av. Salgado Filho × Av. Nascimento de Castro	59	43	4	30
Av. Salgado Filho × Av. Amintas Barros	21	48	4	25

Tabela 7 – Informações relativas as vias na estratégia 2.

Fonte: FILHO (2009).

Arestas	Atraso	Número de paradas
1	7.9060545	14.13961
2	7.9060535	12.725649
3	20.239502	142.52728
4	20.239502	142.52728
5	10.752234	70.69805
6	10.752235	63.628246
7	17.39332	50.902596
8	17.39332	50.902596
9	9.171023	0.0
10	9.171024	0.0
11	18.974531	157.79805
12	18.974531	157.79805
Total	168.87334	863.6474
PI	1029.9	

Com essas duas simulações é possível notar a grande diferença positiva no desempenho do controle da malha que a defasagem entre as interseções faz. O índice do atraso das duas estratégias continuam o mesmo porém o número de paradas referente as vias reduziu consideravelmente na estratégia número 2, baseada no método Webster. Reduzindo também o *Performance Index* (PI) que indica a melhora da performance da malha.

4 Metodologia

PARA o presente trabalho foi realizado um estudo do fluxo automotivo e a performance de trânsito que uma malha real, localizada na cidade de Manaus, possui. Para isso, o mesmo conta com estudos de caso sobre a sincronização dos semáforos da malha e estudos aplicados ao fluxo presente nas vias da rede escolhida. Com isso, é desenvolvida uma proposta cujo seu objetivo principal é a otimização das vias através de um controle efetuado por um microcontrolador utilizando métodos da estratégia de controle de trânsito TUC, métodos como o controle de ciclos e o controle de defasagem entre os semáforos. Para validação dos estudos, foram feitas simulações em software para os testes na malha. E para a demonstração do trabalho, um modelo da malha controlada em uma maquete acadêmica.

4.1 Malha Viária

Para a definição da malha viária que será realizado o estudo, foi feito um levantamento das vias com o tráfego urbano mais crítico em horários de picos, e que possuíam longas filas de automóveis parados em congestionamento devido ao alto fluxo automotivo. A partir disto foi escolhida a Avenida Mário Ypiranga com cruzamentos com várias outras vias pelo fato de ser uma Avenida que é onde várias outras vias desafogam seu fluxo de trânsito nela, também por conter a entrada e saída de um dos principais *shoppings* da cidade de Manaus, além de ser uma via que cruza desde o início de grandes bairros da cidade até o centro da cidade. Ou seja, é uma via muito importante para o deslocamento urbano dos cidadãos que residem, ou que estejam de passagem em Manaus.

Para fazer o estudo foi escolhido apenas um trecho da Avenida Mário Ypiranga Monteiro, o trecho de maior gargalo. Começando com o primeiro cruzamento após a saída do *shopping* Manauara até o último cruzamento antes do fim da Avenida.

Como é ilustrado na figura 9, há cinco cruzamentos para o estudo e análise. Sendo eles:

1. Cruzamento Avenida Mário Ypiranga Monteiro com a Rua Salvador.
2. Cruzamento Avenida Mário Ypiranga Monteiro com a Rua Fortaleza.
3. Cruzamento Avenida Mário Ypiranga Monteiro com a Rua Terezina.
4. Cruzamento Avenida Mário Ypiranga Monteiro com a Rua São Luiz.
5. Cruzamento Avenida Mário Ypiranga Monteiro com a Rua Professor Marciano Armond.



Figura 9 – Trecho de estudo da Avenida Mário Ypiranga Monteiro

4.2 Descrição do funcionamento atual da malha

Para realizar o controle da malha viária e fazer um proposta de otimização da mesma, inicialmente se fez necessário um estudo aprofundado do comportamento e o funcionamento atual da Avenida Mário Ypiranga Monteiro e as ruas adjacentes que a cruzam. A princípio, com a ajuda do órgão municipal de Educação e Fiscalização de Trânsito de Manaus (Manaustrans) que forneceu estudos sobre os fluxos contidos nas vias da malha viária, o estudo foi realizado pela Diretoria de Engenharia e Educação para o Trânsito e a Divisão de Estatística e Gestão de Informação do Órgão Municipal de Engenharia, sendo Minuza Lira a responsável. O estudo é referente ao cruzamento da Av. Mário Ypiranga com a Rua Salvador, o primeiro cruzamento da malha ilustrado de acordo com a figura 10.

Os dados gerados pelo estudo estão representados na tabela 8, onde os valores são divididos em cinco amostras para aumentar a confiabilidade do estudo, e esses intervalos de amostragem são uma hora, todos realizados em horário de pico, onde o fluxo tem característica mais densa e maior intensidade, cada movimento é descrito por setas na figura 10.

E com a contagem de veículos que transitam na via, sendo eles carros particulares, motos, ônibus, entre outros, obtêm-se o fluxo equivalente do cruzamento de acordo com a tabela 8, para cada movimento descrito na figura 10. O fluxo equivalente, contido na tabela 9 segue uma relação de proporção para cada tipo de veículo que transita na malha, onde aproximadamente:

- 1 carro = 3 motos;
- 1 ônibus comum = 2 carros;
- 1 ônibus articulado = 5 carros;
- 1 caminhão = 3 carros;

- 1 carreta = 2 carros.



Figura 10 – Cruzamento Av. Mário Ypiranga com a Rua Salvador com as setas de movimentos.

Fonte: Lira (2013).

Tabela 8 – Estudo do fluxo viário no cruzamento 1.

Fonte: Lira (2013).

Descrição	VOL/HORA/EQ	Mov2/total/h	Mov4/total/h	total/h/pico
Rua Salvador antes do cruzamento com a Mário Ypiranga	17:00 - 18:00	1354	1019	2353
	17:15 - 18:15	1354	908	2262
	17:30 - 18:30	1304	935	2239
	17:45 - 18:45	1249	962	2211
	18:00 - 19:00	1240	923	2163
Rua Salvador após o cruzamento com a Mário Ypiranga	17:00 - 18:00	1334	528	1862
	17:15 - 18:15	1354	497	1851
	17:30 - 18:30	1304	477	1781
	17:45 - 18:45	1249	482	1731
	18:00 - 19:00	1240	472	1712
Descrição	VOL/HORA/EQ	Mov1/total/h	Mov3/total/h	total/h/pico
Avenida Mário Ypiranga antes do cruzamento com Salvador	17:00 - 18:00	2195	528	2723
	17:15 - 18:15	2134	497	2631
	17:30 - 18:30	2081	477	2558
	17:45 - 18:45	1997	482	2479
	18:00 - 19:00	2159	472	2631
Avenida Mário Ypiranga após o cruzamento com a rua Salvador	17:00 - 18:00	2195	1019	3214
	17:15 - 18:15	2134	908	3042
	17:30 - 18:30	2081	935	3016
	17:45 - 18:45	1997	962	2959
	18:00 - 19:00	2159	923	3082

Tabela 9 – Fluxo equivalente a hora de pico em cada via para o cruzamento 1.

Fonte: Lira (2013).

MOVIMENTO	HORA PICO	AUTO	MOTO	ÔNIBUS COMUM	ÔNIBUS ARTICULADO	CAMINHÃO	CARRETA	EQUIVALENTE
1	17:00 - 18:00	1873	211	49	5	25	12	2195
2	17:15 - 18:15	1169	190	35	1	4	2	1354
3	17:00 - 18:00	498	47	1	0	2	0	528
4	17:00 - 18:00	749	280	39	6	12	1	1019

Com o fluxo ditado pelo primeiro cruzamento da malha em estudo, o próximo passo para a análise de dados foi o estudo de caso, realizado em campo, feito para o levantamento dos tempos que cada sinal de trânsito tem, tanto para sinal verde quanto para o sinal vermelho, de todos os cruzamentos pertencentes à malha de estudo. Para isso foram tiradas cinco amostras de tempo para cada sinal apresentados na tabela 10.

Tabela 10 – Tempos dos sinais de cada semáforo da malha viária de estudo.

Cruzamento	VIA	Sinal	1ª amostra	2ª amostra	3ª amostra	4ª amostra	5ª amostra
1	Av. Mário Ypiranga	Verde	42:52 s	42:52 s	42:90 s	42:67 s	42:63 s
		Vermelho	47:08 s	47:06 s	46:97 s	47:12 s	42:95 s
	Salvador	Verde	47:15 s	47:06 s	47:11 s	47:18 s	47:14 s
		Vermelho	43:03 s	42:85 s	42:93 s	42:98 s	43:02 s
2	Av. Mário Ypiranga	Verde	60:88 s	61:21 s	61:13 s	61:08 s	60:97 s
		Vermelho	28:92 s	29:14 s	29:15 s	28:99 s	29:06 s
	Fortaleza	Verde	24:97 s	24:51 s	24:78 s	24:81 s	24:77 s
		Vermelho	65:06 s	65:26 s	65:17 s	65:13 s	65:25 s
3	Av. Mário Ypiranga	Verde	60:36 s	61:07 s	60:82 s	60:96 s	60:99 s
		Vermelho	29:06 s	28:95 s	28:89 s	28:93 s	20:01 s
	Terezina	Verde	24:57 s	24:95 s	24:89 s	24:75 s	24:80 s
		Vermelho	65:02 s	65:30 s	65:19 s	65:23 s	65:27 s
4	Av. Mário Ypiranga	Verde	60:15 s	60:32 s	60:83 s	60:37 s	60:20 s
		Vermelho	28:98 s	28:93 s	28:91 s	28:86 s	28:89 s
	São Luiz	Verde	24:52 s	24:89 s	24:93 s	25:61 s	24:63 s
		Vermelho	64:98 s	65:28 s	65:13 s	65:05 s	65:01 s
5	Av. Mário Ypiranga	Verde	60:33 s	60:37 s	61:03 s	60:83 s	60:15 s
		Vermelho	28:99 s	29:05 s	29:07 s	29:18 s	29:12 s
	Marciano Armon	Verde	24:21 s	23:95 s	23:91 s	23:92 s	23:99 s
		Vermelho	65:13 s	65:27 s	65:22 s	65:10 s	65:13 s

Porém como o estudo do fluxo foi realizado em 2013, e de acordo com o Detran/AM a quantidade de veículos tem uma média de crescimento entre 9% a 10% por ano (D24AM, 2011), é feito uma aproximação do fluxo equivalente referente ao ano de 2014, o cálculo simples para o incremento de 10% da quantidade de veículos nas vias para o estudo do comportamento atual da malha.

4.3 Descrição do funcionamento da malha com o modelo proposto

Para o modelo proposto foi utilizando um microcontrolador Arduino Mega para execução da lógica de controle da malha, sendo então um modelo de controle centralizado.

Para o cálculo do fluxo da malha será utilizado o mesmo estudo feito pelo órgão de trânsito ManausTrans apresentado anteriormente neste mesmo trabalho, e fazer um cálculo aproximado do fluxo equivalente das vias nos dias de hoje na mesma forma que foi realizada para a descrição do funcionamento da malha atual, incremento de 10% da quantidade de veículos.

O modelo vai contar com duas fases, uma para o comportamento estático da malha, ou seja será aplicada as leis de controle para a malha somente para o caso com os fluxos estudados através das pesquisas realizadas pelo ManausTrans, nesse caso será aplicado na lógica de programação o controle de ciclo da malha e o controle de defasagem dos semáforos, que serão obtidos através de simulação da malha utilizando um *software* de simulação de trânsito. Os tempos de defasagem dos cruzamentos e o ciclo da malha não irá ser alterado conforme a mudança do fluxo, pois o comportamento é dado como estático, sendo aplicado apenas para horários de pico, onde o fluxo é conhecido.

Na segunda fase será o controle para o comportamento dinâmico, que é um sistema retroalimentado por sensores. Nesse caso será aplicada ambas as técnicas, controle de ciclo e controle de defasagem, porém com o retorno do comportamento a tempo real da malha transmitido pela leitura feitas pelos sensores a cada fim de ciclo da malha, novos tempos de defasagem e de ciclo será calculado e atribuído as vias, caracterizando dessa forma um comportamento dinâmico do controle.

4.4 Simulação

4.4.1 Simulação do funcionamento atual da malha

Com os dados coletados sobre a malha, e o seu funcionamento bem especificado, é feita uma simulação para análise de seu comportamento no *software* SUMO. Para criação da malha no *software* primeiramente foram criados arquivos referentes às interseções que a malha possui, às vias que ligam essas interseções, às rotas que os carros percorrem ao longo da malha, todos são criados em bloco de notas salvos em arquivos do tipo XML.

As medições de uma interseção para outra foram realizadas com a ajuda de um serviço gratuito de pesquisa e visualização de mapas e imagens de satélite da Terra chamado de *Google Maps*, as medidas de cada via são descritas na tabela 11. A figura 11 ilustra a medição das vias da malha.

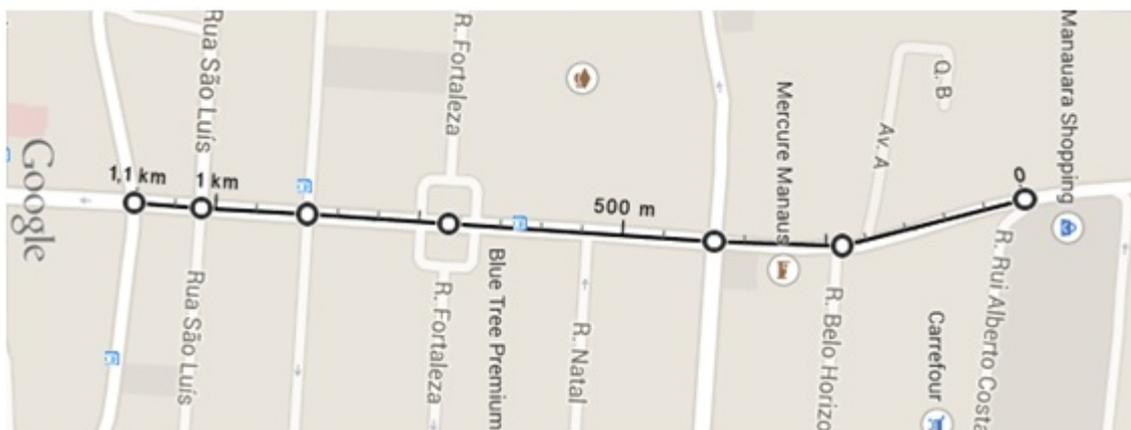


Figura 11 – Distância entre os cruzamentos da malha.

Tabela 11 – Distância entre os cruzamentos da malha.

Via	Distância
Saída do Manauara Shopping até cruzamento com a Rua Salvador	387 metros
Cruzamento da Rua Salvador até cruzamento com a Rua Fortaleza	324 metros
Cruzamento da Rua Fortaleza até cruzamento com a Rua Terezina	165 metros
Cruzamento da Rua Terezina até cruzamento com a Rua São Luís	132 metros
Cruzamento da Rua São Luís até cruzamento com a Rua Marciano Ammond	83 metros

Tem-se uma distância total da malha, referente a via principal Av. Mário Ypiranga, igual 1,1 km de distância.

Para a criação dos semáforos são inseridos para o código para a criação deles em cada interseção de cruzamento no arquivo de interseção.

Nas simulações as vias são representadas apenas com uma mão viária. A av. Mário Ypiranga é constituída no mundo real por quatro mãos viárias de sentido único e admitindo que o fluxo contido nas quatro mãos da via são proporcionais e divididos igualmente. Sendo assim, o fluxo inserido no programa de simulação é reduzido proporcionalmente para um novo fluxo equivalente a intensidade de apenas uma mão viária de sentido único, é realizado esse cálculo para o novo fluxo para todas as ruas da malha para a execução da simulação. Para a inserção do fluxo, é colocado este novo número de carros que passam por cada via em um intervalo de tempo igual a 60 minutos no arquivo que dita as rotas percorridas na malha.

Na figura 12, é apresentada a malha simulada no *software*, no instante de simulação igual 2605, o que representa aproximadamente 44 minutos após o início do horário de pico.

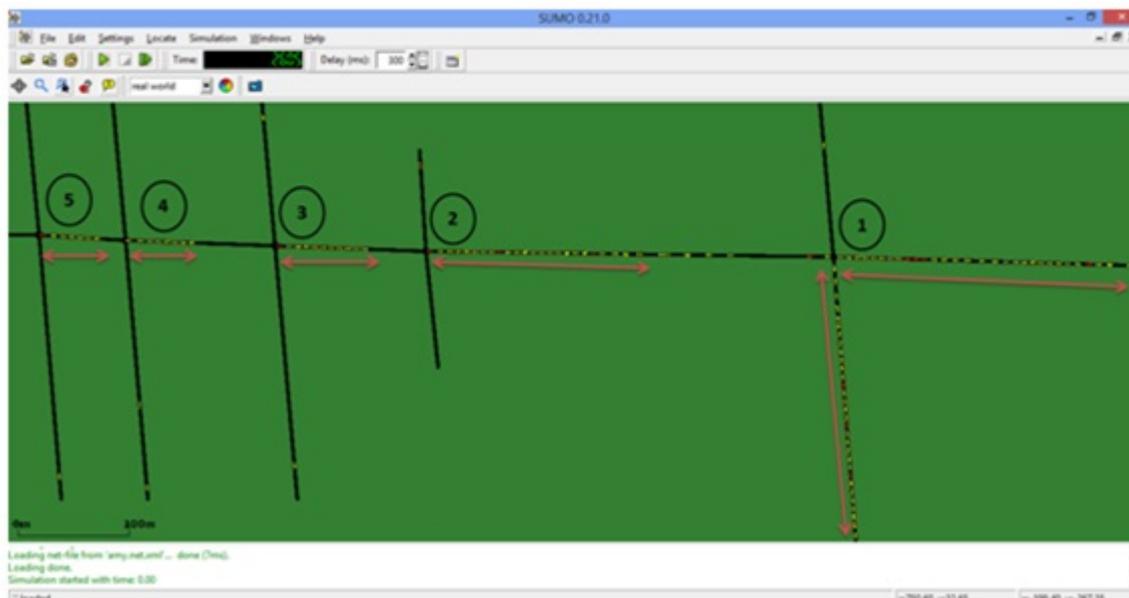


Figura 12 – Sistema simulado com o funcionamento atual da malha.

Então para a simulação da malha no sistema atual pode ser notado longas filas de engarrafamento ao longo de toda Avenida Mário Ypiranga para vários instantes de tempo, tendo como exemplo a figura 12. Para este momento da simulação do sistema para a condição atual, tem-se setas vermelhas representando o tamanho de filas de engarrafamento formadas, para cada cruzamento ao longo da Avenida Mário Ypiranga. Além de os semáforos estarem dessincronizados, fazendo com que o usuário dessa malha viária pare consecutivamente em vários sinais vermelhos da via. No cruzamento 1, tem-se um estado crítico onde ambas as vias possuem grande gargalo de veículos, sendo o maior gargalo da malha.

Com isso foi possível estudar o comportamento da malha para os atuais tempos semafóricos, e se fez necessário a aplicação de uma técnica de controle que influencie principalmente as vias de mais fluxo, a Avenida Mário Ypiranga e a Rua Salvador.

4.4.2 Simulação do funcionamento proposto para a malha

4.4.2.1 Comportamento estático

Para o comportamento estático, aplicado somente para o fluxo levantado durante o estudo, ou seja em horários de pico, foi realizado análise do comportamento da malha, e aplicado primeiramente defasagem entre os semáforos, ou a onda verde. Para isso baseado na estratégia TUC foram feitas algumas considerações para tal aplicação, sendo elas:

- Os sinais, no sentido da avenida Mário Ypiranga, tem que abrir de trás para frente (sentido ascendente), ou seja, abre-se primeiro o sinal do cruzamento número 5, depois de certo tempo definido no estudo o cruzamento número 4, depois o cruzamento número 3, e assim sucessivamente até o cruzamento de número 1.

- E para o fechamento dos mesmos, começando pelo cruzamento número 1, depois de algum tempo o cruzamento de número 2, e assim sucessivamente.
- O tempo entre a abertura de um sinal de um cruzamento para outro é determinado pelo tempo médio em que o último carro da fila formada durante o engarrafamento de um cruzamento começa a se deslocar, ou seja o próximo cruzamento só vai liberar o fluxo quando o cruzamento anterior permitir o deslocamento de todos os carros.
- A velocidade sugerida para a malha que é de 60 km/h.

A sequência e abertura dos sinais nessa sequência evita que um veículo que está trafegando na via principal não pare no sinal vermelho do próximo cruzamento ou em outra fila de engarrafamento.

O tempo entre a abertura de um sinal de um cruzamento para outro é obtido através das simulações realizadas pelo *software* SUMO e utilizando como base os dados da manaustrans. O sinal do cruzamento 4 abre após 7 segundos da abertura do sinal do cruzamento 5. O sinal do cruzamento 3 libera seu fluxo automotivo após 10 segundos da abertura do sinal do cruzamento 4. O sinal do cruzamento 2 comuta para o sinal verde após 11 segundos da abertura do sinal do cruzamento 3. E por fim o sinal do cruzamento 1 após 30 segundos da abertura do sinal do cruzamento 2. E no último cruzamento o semáforo que está no sentido da Av. Mário Ypiranga fica com característica verde por 40 segundos, conforme coluna “abre” da tabela 12.

O tempo entre o fechamento de um sinal de um cruzamento para o outro é calculado a partir do momento em que o último carro liberado pelo cruzamento leva para alcançar o próximo cruzamento, levando em conta a velocidade sugerida para a malha que é de 60 km/h. Esse tempo é obtido através de simulações realizadas pelo *software* SUMO.

Para primeira análise, levando em conta o fluxo contido na via principal, são considerados os semáforos do segmento da Avenida Mário Ypiranga, e a partir dos tempos encontrados para os fechamentos para cada semáforo dessa análise, é possível encontrar a temporização adequada para as vias adjacentes a Avenida Mário Ypiranga para que o ciclo da malha seja controlado. No quinto cruzamento o semáforo se fecha após 40 segundos a sua abertura, no quarto cruzamento o semáforo comuta seu sinal para vermelho após 30 segundos o fechamento do que se encontra no quinto cruzamento. O terceiro após 11 segundos do quarto, o segundo após 10 segundos do semáforo do terceiro cruzamento, e por fim o último semáforo fecha após 7 segundos o fechamento do anterior e ele fica fechado por um tempo igual a 20 segundos. Para exemplificação dos tempos calculados tem-se na figura 13 um diagrama do comportamento estático proposto para a malha em apenas um ciclo.

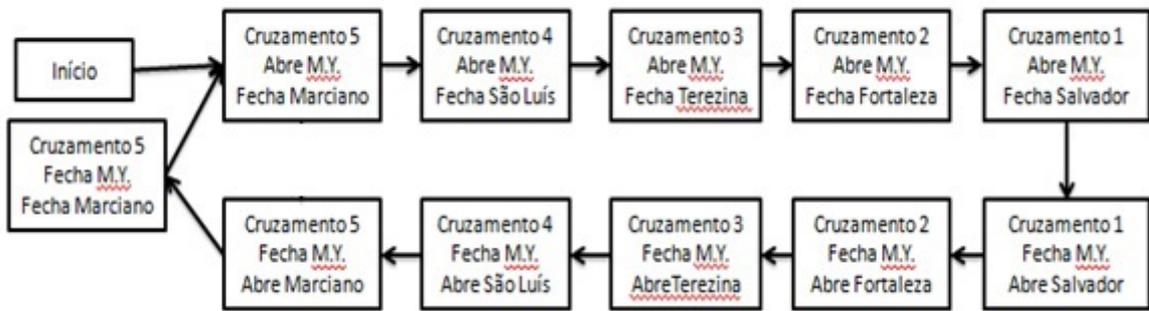


Figura 13 – Diagrama de blocos do funcionamento da defasagem entre os semáforos.

Os tempos obtidos através da simulação estão contidos na tabela 12. E os tempos que cada semáforo fica aberto e os tempos que cada semáforo fica fechado está na tabela 13.

Tabela 12 – Tempos de abertura e fechamento de cada sinal em relação ao semáforo anterior, e em relação ao instante do ciclo.

Cruzamento 1	Abre	Fecha
Depois do semáforo anterior	0 segundos	7 segundos
No instante de tempo do ciclo	0 segundos	156 segundos
Cruzamento 2		
Depois do semáforo anterior	7 segundos	10 segundos
No instante de tempo do ciclo	7 segundos	149 segundos
Cruzamento 3		
Depois do semáforo anterior	10 segundos	11 segundos
No instante de tempo do ciclo	17 segundos	139 segundos
Cruzamento 4		
Depois do semáforo anterior	11 segundos	30 segundos
No instante de tempo do ciclo	28 segundos	128 segundos
Cruzamento 5		
Depois do semáforo anterior	30 segundos	40 segundos
No instante de tempo do ciclo	58 segundos	98 segundos

Tabela 13 – Tempo de cada semáforos dos cruzamentos no sentido da Av. Mário Ypiranga.

Cruzamento	Tempo aberto	Tempo fechado
1	40 s	136 s
2	100 s	176 s
3	122 s	54 s
4	142 s	34 s
5	156 s	20 s

Esses tempos resultam em um ciclo de 176 segundos, ou seja, após 176 segundos o primeiro semáforo irá liberar seu fluxo dando início a um novo ciclo semafórico da malha.

A partir disto uma nova simulação foi realizada utilizando o *software* SUMO para a análise do novo comportamento da malha viária introduzindo os novos tempos dos semáforos agora sincronizados com o controle de defasagem. Em um instante de tempo bem próximo da simulação mostrada na figura 12, aproximadamente um tempo equivalente a 45 minutos após o início da hora de pico. A figura 14, ilustra a simulação com a realização da troca dos tempos de cada sinal, mantendo o mesmo fluxo apresentado nas simulações anteriores.

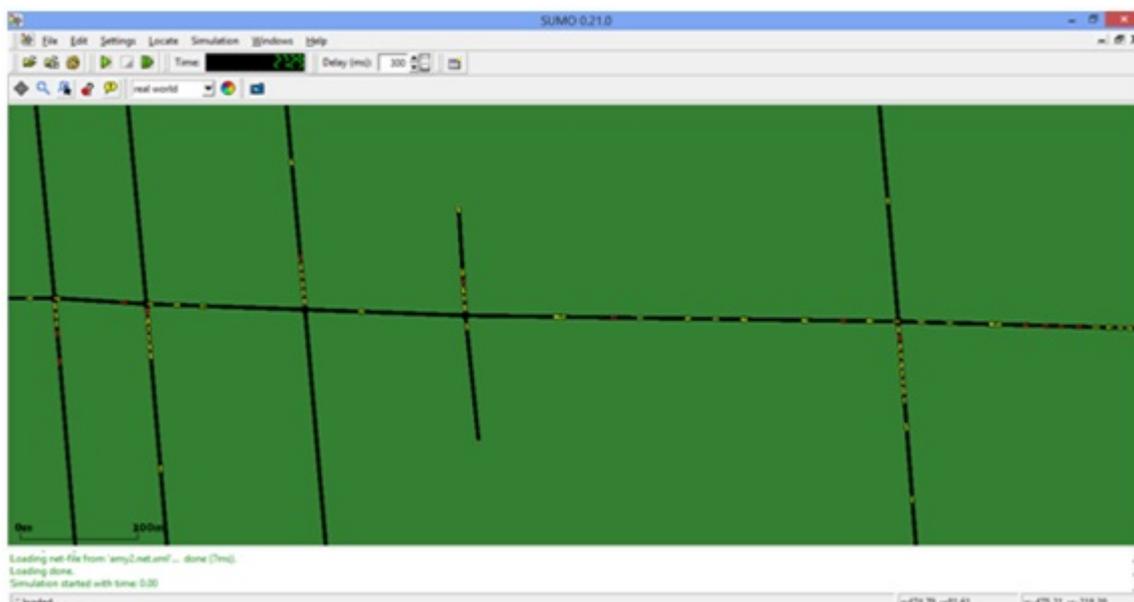


Figura 14 – Sistema simulado com o funcionamento atual da malha.

Esse controle fez com que os veículos que estão no sentido da avenida Mário Ypiranga Monteiro, avançassem por todo o seu trajeto sem que parassem em nenhum outro sinal subsequente, além de reduzir consideravelmente as filas de engarrafamento formadas nas vias da malha, tanto na av. Mário Ypiranga quanto nas outras vias adjacentes.

4.4.2.2 Comportamento dinâmico

Para o comportamento dinâmico foram admitidas as mesmas condições que foram estabelecidas no comportamento estático, porém será utilizado sensores de presença para detecção do comportamento da malha em tempo real, sendo assim esse controle pode ser aplicado para todos os momentos, não somente em horários de pico.

Segundo OLIVEIRA (2012) os principais requisitos para a utilização do sensor de presença em um sistema de semáforo inteligente são:

- Baixo custo de aquisição, instalação e manutenção;
- Facilidade de instalação e manutenção;

- Baixa sensibilidade a variações ambientais;
- Garantia de acertos.

Para a elaboração do programa os sensores serão simulados como chaves no modelo didático iguais aos da figura 15, sendo assim, quando a chave estiver ligada será admitido que o sensor está ativado enviando um sinal digital igual a 1, conseqüentemente quando a chave estiver fechada será emitido um sinal digital igual 0, representando que o sensor não está captando a presença de carros no local.



Figura 15 – Botão interruptor universal.

Para a definição dos locais onde os sensores serão colocados na malha, foi realizada uma análise na simulação do comportamento estático, e para o pior caso foi considerado o comportamento do modo estático, então os sensores para o pior caso de cada cruzamento se localiza nos ponto onde as filas terminam de acordo com a figura 12. Então são aplicados os mesmos tempos encontrados no subitem 4.4.2.1, apresentados na tabela 12.

Além desses pontos de localização de cada sensor, para o pior caso de cada cruzamento, tem-se sensores localizados, aproximadamente, na metade de cada fila gerada por cada cruzamento, para indicar se o fluxo está baixo (ambos sensores da via não atuam), se fluxo está médio (quando este sensor estiver ativo e o próximo não), ou ainda se o fluxo está alto (os sensores detectam veículos).

Para as vias após os cruzamentos 1 e 2, serão usados 3 sensores pois os comprimentos desses trechos possuem distâncias maiores em relações aos outros trechos, então se fosse utilizado apenas dois sensores para esses dois trechos não teria uma confiabilidade boa para detecção da característica do fluxo. Para estes dois casos foram utilizadas as seguintes características de fluxo (considerando com exemplo os sensores do cruzamento 1, apresentados na figura 16):

- Fluxo baixo: nenhum dos três sensores estão detectando veículos;
- Fluxo médio 1 (entre o fluxo baixo e o fluxo médio): sensor S10 acionado e ambos os sensores S11 e S12 não atuam.

- Fluxo médio 2 (entre o fluxo baixo e o fluxo alto): sensor S10 e S11 identificam a presença de carros e o S11 não.
- Fluxo alto: todos os três sensores detectam veículos em suas posições.



Figura 16 – Localização dos sensores na via para o modelo proposto com comportamento dinâmico.

Então os pontos em que os sensores se localizam, na via, estão nas distâncias apresentadas na tabela 14, ilustrados na figura 16.

Tabela 14 – Localização das distâncias dos sensores na Av. Mário Ypiranga.

Cruzamento	Sensor	Distância após o semáforo
5	S1	20 metros
	S2	50 metros
4	S3	40 metros
	S4	100 metros
3	S5	40 metros
	S6	100 metros
2	S7	50 metros
	S8	100 metros
1	S9	210 metros
	S10	70 metros
	S11	160 metros
	S12	350 metros

A partir de simulações realizadas no SUMO, utilizando demandas de tráfego diferente para simular cada comportamento de fluxo de cada semáforo lidos pelos sensores posicionados na pista, a fim de analisar o desempenho de cada situação gerando novos tempos de defasagem entre os semáforos. Esses tempos são encontrados a partir de análise das simulações e medições dos tempos considerando as suposições desenvolvidas pela estratégia TUC para o mecanismo de Onda Verde, em que o controle é utilizado para permitir que os veículos que trafegam na via encontrem semáforos sincronizados, verdes durante todo o trajeto. Assumindo a relação apresentada por Dietrich, tem-se que para menor o tamanho da fila, menor o tempo de defasagem entre interseções subsequentes.

Sendo assim para cada comportamento lido pelo sensor no início de cada ciclo da malha, novos tempos de defasagem serão calculados em cada interseção de vias na malha.

Os novos tempos são especificados através das simulações e estão na tabela 15.

Tabela 15 – Tempos de defasagem entre os cruzamentos para cada comportamento de cada cruzamento.

Cruzamento	Comportamento	Tempo de defasagem para o próximo semáforo da Mário Ypiranga
5	Fluxo Baixo	2 segundos
	Fluxo Médio	4 segundos
	Fluxo Alto	7 segundos
4	Fluxo Baixo	2 segundos
	Fluxo Médio	5 segundos
	Fluxo Alto	10 segundos
3	Fluxo Baixo	3 segundos
	Fluxo Médio	8 segundos
	Fluxo Alto	11 segundos
2	Fluxo Baixo	3 segundos
	Fluxo Médio 1	7 segundos
	Fluxo Médio 2	15 segundos
1	Fluxo Alto	30 segundos
	Fluxo Médio 1	25 segundos
	Fluxo Médio 2	35 segundos
	Fluxo Alto	40 segundos

Com isso pode-se calcular quantos tipos de ciclos diferentes a malha pode ter. Através de uma análise combinatória, onde o primeiro, segundo e o terceiro semáforo podem assumir três comportamentos diferentes e o quarto e o quinto semáforo podem assumir quatro comportamentos diferentes.

$$C = 3^3 \cdot 2^4$$

E como resultado o ciclo da malha pode sofrer 432 variações, possuindo tempos diferentes e comportamentos diferentes pra cada uma.

4.5 Desenvolvimento do método proposto

A partir das simulações realizadas, se deu início ao desenvolvimento da aplicação dos resultados obtidos, para isso foi desenvolvido um firmware, e a montagem de um circuito utilizando botões simulando os sensores, LED (Light Emitting Diode), geralmente utilizados em produtos de microeletrônica como sinalizador de avisos, para simulações em um modelo didático do método proposto. Para segurança do circuito e uma boa execução do mesmo, foram utilizados resistores de 330 Ohms em série com os LEDs, e resistores de 10 kOhm em um circuito para os botões conforme a figura 17.

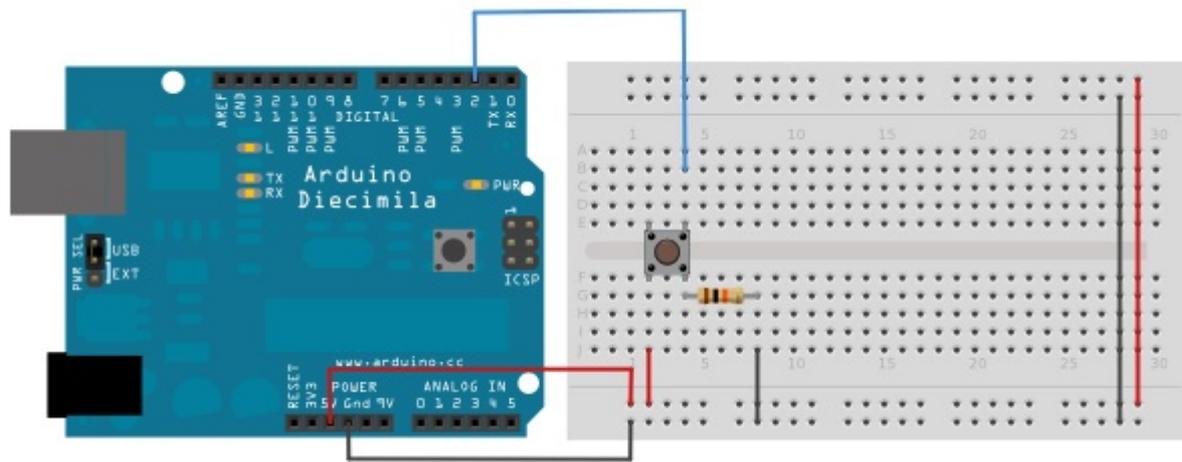


Figura 17 – Circuito para utilização de botões no arduino.

Fonte: Arduino (2014b).

4.5.1 Controlador central

Para o controlador central foi utilizado um Arduíno Mega 2560, nele suas saídas alimentam diretamente os LEDs para simulação dos semáforos e para realizar o controle da malha, tanto para o comportamento estático quanto para o comportamento dinâmico.

4.5.1.1 Programação para comportamento estático

Para execução do comportamento proposto a malha com comportamento estático, foi criada uma rotina de programação que é responsável pela execução do controle de ciclo dos semáforos e do controle de defasagem entre eles. A figura 18 mostra um trecho da rotina para declarar todas as variáveis do código, que são as portas de saída do Arduino Mega que emitem sinal digital para os LEDs.

Com as variáveis declaradas a rotina principal foi escrita para o controle da malha de acordo o método apresentado no sub item 4.4.2.1. A figura 19 apresenta um trecho da rotinha principal de execução do programa.

Os comando "abre" e "fecha" contidos no programa principal são subfunções que mandam 3 parâmetros que são as três saídas digitais do Arduino que são as variáveis que comutam os atuadores de cada sinal de trânsito.

```

int cont=0;

void setup(){
//DECLARAÇÃO DAS PORTAS DIGITAIS AV MARIO YPIRANGA
//Cruzamento 1; pino 1 = sinal verde; pino 2 = sinal amarelo; pino 3 = sinal vermelho
pinMode(1,OUTPUT);
pinMode(2,OUTPUT);
pinMode(3,OUTPUT);
//Cruzamento 2; pino 4 = sinal verde; pino 5 = sinal amarelo; pino 6 = sinal vermelho
pinMode(4,OUTPUT);
pinMode(5,OUTPUT);
pinMode(6,OUTPUT);
//Cruzamento 3; pino 7 = sinal verde; pino 8 = sinal amarelo; pino 9 = sinal vermelho
pinMode(7,OUTPUT);
pinMode(8,OUTPUT);
pinMode(9,OUTPUT);
//Cruzamento 4; pino 10 = sinal verde; pino 11 = sinal amarelo; pino 12 = sinal vermelho
pinMode(10,OUTPUT);
pinMode(11,OUTPUT);
pinMode(12,OUTPUT);
//Cruzamento 5; pino 13 = sinal verde; pino 14 = sinal amarelo; pino 15 = sinal vermelho
pinMode(13,OUTPUT);
pinMode(14,OUTPUT);
pinMode(15,OUTPUT);

```

Figura 18 – Trecho da rotina da programação para declaração das variáveis para funcionamento proposto com comportamento estático.

```

void loop(){
  fecha(16,17,18);
  abre(1,2,3);
  delay(7000);
  fecha(19,20,21);
  abre(4,5,6);
  delay(10000);
  fecha(22,23,24);
  abre(7,8,9);
  delay(11000);
  fecha(25,26,27);
  abre(10,11,12);
  delay(30000);
  fecha(28,29,30);
  abre(13,14,15);
  if(cont==0){
    cont=cont+1;
  }
  delay(40000);
  fecha(13,14,15);
  abre(28,29,30);
  delay(30000);
  fecha(10,11,12);
  abre(25,26,27);
  delay(11000);
  fecha(7,8,9);

```

Figura 19 – Trecho da programação com a rotina principal para execução do controle da malha com comportamento estático.

4.5.1.2 Programação para comportamento dinâmico

Na elaboração da programação para o comportamento dinâmico, foi utilizada como base a programação do comportamento estático, usando as mesmas entradas adicionando as entradas dos sensores. As subfunções "abre" e "fecha" também continuam iguais, pois

o modo que os semáforos abrem é o mesmo, tendo como diferença apenas a temporização de cada um.

Na rotina principal teve-se que adicionar uma função de condição para cada tipo de comportamento do fluxo em cada sinal.

Como apresentado na figura 20, tem-se como exemplo os semáforos do cruzamento 2, Av. Mário Ypiranga com a rua Fortaleza, para esse cruzamento a defasagem do cruzamento 2 para o cruzamento 1 pode ter quatro estados diferentes para quatro tipos de comportamento do fluxo no cruzamento 2, de acordo com a tabela 15, dependendo da leitura dos sensores S7, S8 e S9, que pertence a esse trecho de defasagem. Para isso então foram criadas quatro funções de condição para cada estado desse, e para cada uma condição há um tempo de defasagem diferente, expostos na tabela 15.

```
if(i==1&&h==1&&g==1){
  delay(30000);
}
if(i==0&&h==1&&g==1){
  delay(15000);
}
if(i==0&&h==0&&g==1){
  delay(7000);
}
if(i==0&&h==0&&g==0){
  delay(3000);
}
fecha(28,29,30);
abre(13,14,15);
|
```

Figura 20 – Trecho de programação para o controle de defasagem proposto com comportamento dinâmico.

4.5.2 Elaboração da maquete

Para elaboração da maquete foi necessário o uso dos seguintes materiais:

- 1 Arduino Mega 2260;
- 30 LEDs, sendo 10 verdes, 10 amarelos e 10 vermelhos;
- 30 resistores de 330 Ohms;
- 12 resistores de 10 kOhms;
- Cabos jumpers;
- 1 Protoboard;
- 12 chaves liga e desliga;
- 1 Folha de isopor 50cm x 100cm;
- Papel paraná;
- Canudos;
- Tintas.

4.5.2.1 Semáforos

Para a construção dos semáforos foram utilizados os LEDs representando os sinais dos semáforos, papel paraná usado para fazer o semáforo, tinta preta para pintar o semáforo e canudo usado para servir como base para o semáforo, apresentado na figura 22.

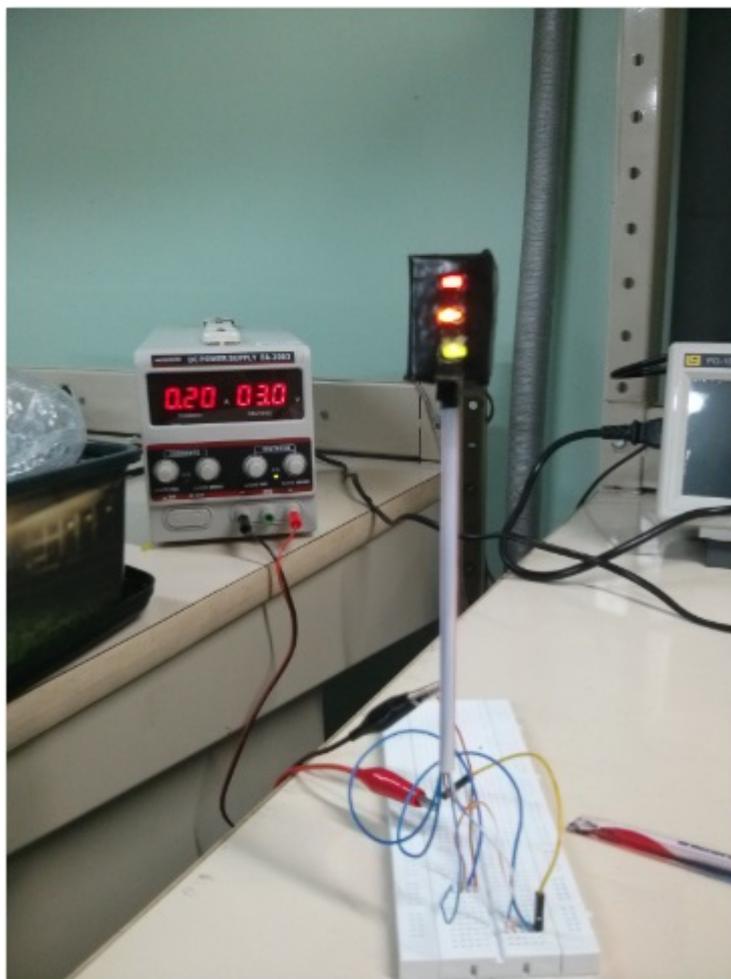


Figura 21 – Semáforo.

4.5.2.2 Esquema elétrico

Na montagem do esquema elétrico, segue como exemplo na figura 23 um exemplo utilizado para um semáforo e para um botão, onde temos da saída dos pinos digitais do arduino um resistor de 330 Ohms em série com cada LED e a saída do LED para o terra. Para a montagem do circuito do botão é utilizado como base a exemplificação da figura 17.

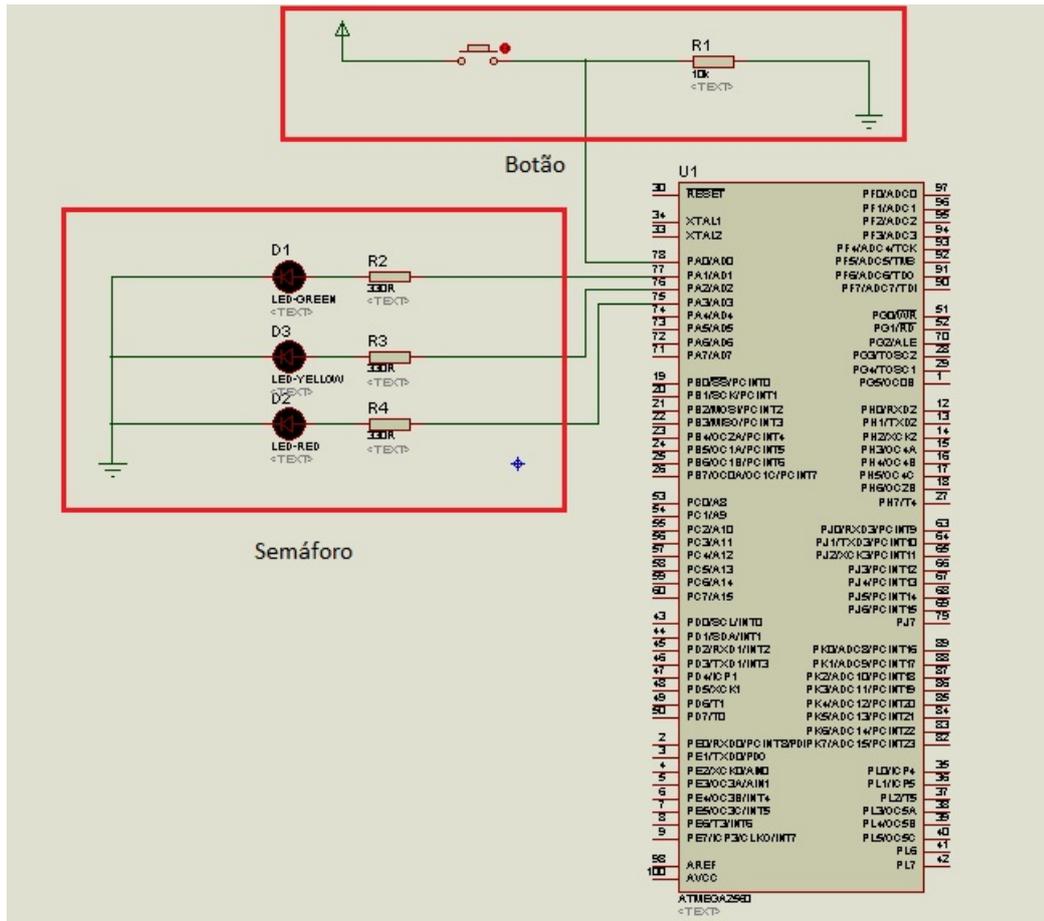


Figura 22 – Esquema elétrico contendo o circuito do semáforo com os três LEDs e o circuito do botão.

4.5.2.3 Maquete

A maquete foi construída em uma folha de isopor de tamanho 50 por 100 cm, tintas de diversas cores foram utilizadas para o desenho das vias da malha. A *proto-board* foi utilizada para auxiliar as ligações entre os LEDs e as chaves com o Arduino, conforme é ilustrado na figura 23.

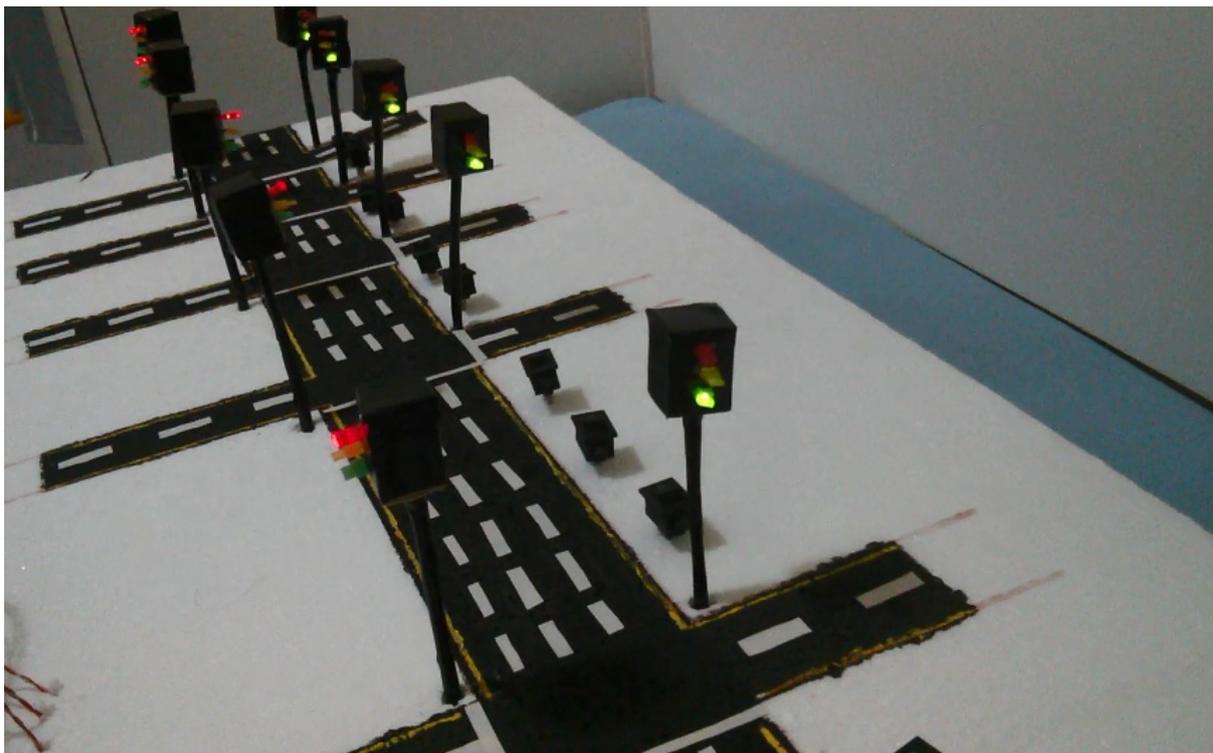


Figura 23 – Maquete.

5 Conclusões

NESTE trabalho foram apresentados estudos relacionados a malha viária que contém os últimos cinco semáforos da Avenida Mário Ypiranga Monteiro na cidade de Manaus. Através desses estudos foi possível analisar a grande demanda de fluxo automotivo contido nessa via, principalmente em horários de pico. Essa alta demanda se dá devido a importância que a Avenida possui para o deslocamento urbano da cidade, sendo uma ligação essencial entre vários bairros e possuindo um dos *shoppings* mais frequentados da cidade.

Ainda, foi realizado um estudo de caso feito para calcular o tempo de cada semáforo da via principal e das vias adjacentes à malha. Através deste pode se notar a dessincronização dos semáforos gerando um tráfego ainda mais caótico para os cidadãos que trafegam diariamente essa malha.

Para visualização do comportamento da malha com os dados obtidos, foi realizada uma simulação no *software* SUMO e através dessa simulação foram calculados os tempos de defasagem entre os semáforos da Avenida Mário Ypiranga Monteiro para o controle da mesma, a fim de observar o desempenho da malha em comportamento estático utilizando controle de defasagem e o controle de ciclo, estratégia de controle empregadas pela técnica TUC. O controle aplicado na malha teve resultados satisfatórios como mostra a figura 14 no subitem 4.4.2.1, que permitiu que os carros trafeguem na via encontrando semáforos sincronizados, verdes durante todo o trajeto. Desta forma formadas as filas de engarrafamento formadas nos trechos de um semáforo para outro, na avenida e também nas ruas adjacentes, diminuíram consideravelmente.

A partir disso se mostrou necessário o controle com comportamento dinâmico, onde a demanda do fluxo é desconhecida, sendo assim, a qualquer momento. Para isso com a ajuda de sensores para identificação do comportamento de cada trecho após cada semáforo, foi possível efetuar o mesmo controle mudando o tempo de defasagem dos sinais de trânsito no início de cada ciclo a partir das leituras de cada sensor. Esses tempos foram obtidos a partir de simulações realizadas pelo *software* SUMO. Desta forma o ciclo pode sofrer 432 variações tendo tempos de ciclos diferentes e comportamentos diferentes. Garantido que a Onda Verde seja implantada e seguida para qualquer comportamento que o tráfego assumir, otimizando a Avenida Mário Ypiranga Monteiro e as ruas adjacentes, e como observado nos resultados das simulações a redução do tamanho das filas de engarrafamento.

5.1 Trabalhos Futuros

Como possíveis trabalhos futuros, pode-se apontar:

- Realizar testes com diferentes tipos de sensores para fazer levantamento de custo e análise do desempenho de cada tipo.
- Aplicar sensores para detecção do comportamento do fluxo nas vias adjacentes para implementar o controle com comportamento dinâmico para todas as vias da malha.
- Fazer estudo para aplicação de inteligência artificial ao sistema.
- Realizar comparação entre outras técnicas de controle.
- Controle de malhas próximas, como os semáforos que compõem a malha posterior e os que compõem a malha da Avenida Humberto Calderaro, paralela a Avenida Mário Ypirango, tais malhas possuem um fluxo intenso de carros e influenciam no desempenho da malha estudada nesta tese.
- Fazer a comunicação das malhas controladas, para que o desempenho de uma não interfira negativamente em outra malha, de forma a garantir a otimização de todas as malhas do conjunto.

Referências

- ADMINISTRATION, F. F. H. Traffic detector handbook: Third edition. Volume I, USA. 2006. Citado na página 20.
- ARDUINO. *Arduino Mega*. 2014. Acessado em 22 de Outubro de 2014. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.
- ARDUINO. *Tutorial: botões no arduino*. 2014. Acessado em 2 de Novembro de 2014. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Button>>. Citado na página 42.
- BOSSE, R. *Onda verde pode melhorar o trânsito das grandes avenidas*. 2011. Acessado em 07 de Outubro de 2014. Disponível em: <<http://opinioenoticia.com.br/brasil-politica/onda-verde-pode-melhorar-o-transito-das-grandes-avenidas>>. Citado na página 10.
- CERVANTES, S. *Um Algoritmo Descentralizado para Controle de Tráfego Urbano em Tempo Real*. Tese (Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Citado na página 10.
- D24AM. *Manaus tem a maior frota de veículos do Norte do país*. 2011. Acessado em: 30 de setembro de 2014. Disponível em: <<http://www.d24am.com/noticias/amazonas/manaus-tem-a-maior-frota-de-veiculos-do-norte-do-pais/29703>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 32.
- DIETRICH, J. *Uma Proposta Para Síntese de Controle Relimentado dos Tempos de Verde em Redes de Tráfego Veicular Urbano*. Dissertação (Tese (Mestre em Ciência da Computação)) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. Dissertação apresentada como pré-requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas. Citado 3 vezes nas páginas 20, 21 e 25.
- DNIT. Identificação de sistemas de pesagem em movimento. Convênio 102/2007 DNIT/UFSC. 2007. Citado na página 20.
- ERUS. *Minicurso Arduino*. 2012. Acessado em: 04 de abril de 2014. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~erus/arquivos/ERUS_minicurso%20arduino.pdf>. Citado na página 17.
- FILHO, J. *Semáforos de Trânsito Operando sobre Demanda de Fluxo*. Dissertação (Monografia) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009. Monografia apresentada como pré-requisito para conclusão de curso em Engenharia de Computação. Citado 3 vezes nas páginas 26, 27 e 28.
- HALLMANN, H. *Comparação entre Software simuladores de trânsito*. Dissertação (Monografia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Monografia apresentada como pré-requisito para a conclusão do curso de Ciência da Computação. Citado 4 vezes nas páginas 14, 23, 24 e 25.
- KRAUS, W.; CARLSON, R. *Controle Preditivo de Tráfego Veicular: Modelos e Técnicas*. Dissertação (Tese (Mestre em Engenharia de Controle e Automação)) — Universidade

de Santa Catarina, 2012. Dissertação (Proposta de Mestrado em Engenharia de Controle e Automação). Citado na página 10.

LIRA, M. Gerência de indicadores do sistema viária. Divisão de Estatística e Gestão de Informação. 2013. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

OLIVEIRA, S. *de Presença para Semáforo Inteligente de Baixo Custo*. Dissertação (Tese (Mestre em Engenharia Mecânica)) — Universidade de Taubaté, 2012. Dissertação (Proposta de Mestrado em Engenharia Mecânica, área de concentração em Automação),. Citado na página 38.

OSSAME, A. C. *Com aumento da frota, trânsito em Manaus pode piorar*. 2012. Acessado em: 30 de setembro de 2014. Disponível em: <[http://acritica.uol.com-br/manaus/Amazonia-Amazonas-Manaus-com_aumento-frota-transito-capital-tende-piorar_0_757724258.html](http://acritica.uol.com.br/manaus/Amazonia-Amazonas-Manaus-com_aumento-frota-transito-capital-tende-piorar_0_757724258.html)>. Citado na página 10.

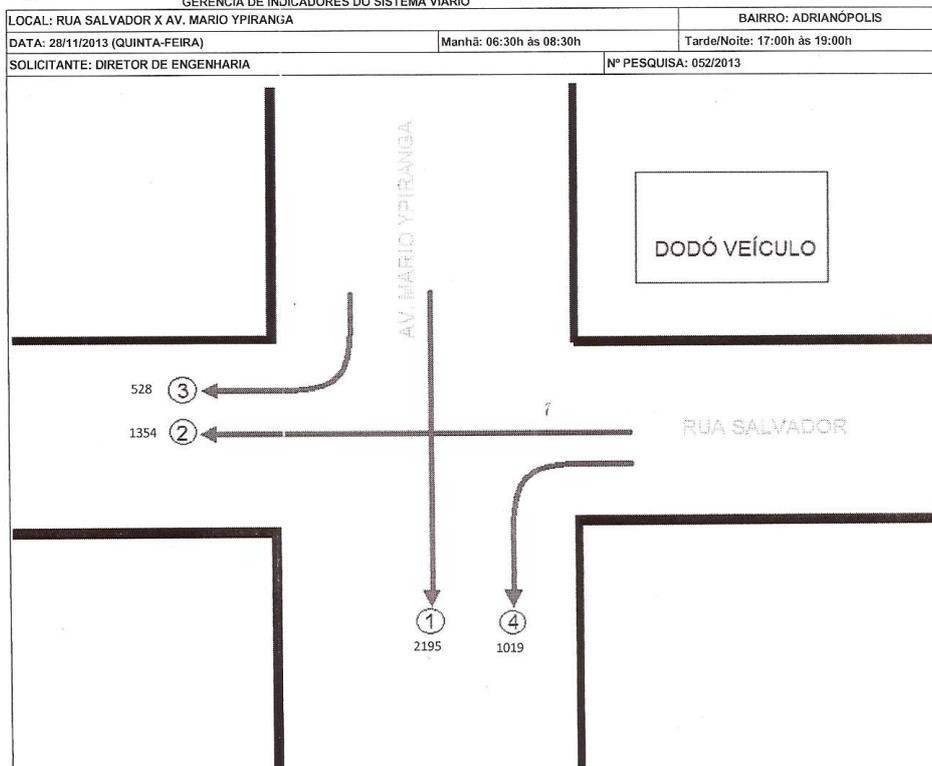
PATSKO, L. Tutorial: Aplicações, funcionamento e utilização de sensores. MAXwell Bohr Instrumentação eletrônica. 2006. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

BARCELÓ, J. (Ed.). *Fundamentals of Traffic Simulation, International Series in Operations Research & Management Science*. 2010. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

ANEXO A – Gerência de Indicadores do Sistema Viário - Rua Salvador x Av. Mário Ypiranga



PREFEITURA DE MANAUS
 INSTITUTO MUNICIPAL DE ENGENHARIA E FISCALIZAÇÃO DO TRÂNSITO - MANAUSTRANS
 DIRETORIA DE ENGENHARIA E EDUCAÇÃO PARA O TRÂNSITO
 DIVISÃO DE ESTATÍSTICA E GESTÃO DE INFORMAÇÃO
 GERÊNCIA DE INDICADORES DO SISTEMA VIÁRIO



Fluxo equivalente a hora pico de cada movimento - Tarde

MOVIMENTO	HORA PICO	AUTO	MOTO	ÔNIBUS COMUM	ÔNIBUS ARTICULADO	CAMINHÃO	CARRETA	EQUIVALENTE
1	17:00 – 18:00	1873	211	49	5	25	12	2195
2	17:15 – 18:15	1169	190	35	1	4	2	1354
3	17:00 – 18:00	498	47	1	0	2	0	528
4	17:00 – 18:00	749	280	39	6	12	1	1019

OBSERVAÇÕES

TEMPO:

(X) SOL OU NUBLADO

() CHUVA FRACA

() CHUVA FORTE

Número de pesquisadores - 04

Fluxo equivalente a hora pico de cada VIA - Tarde

RUA SALVADOR ANTES DO CRUZAMENTO COM A MARIO YPIRANGA				RUA SALVADOR APÓS O CRUZAMENTO COM A MARIO YPIRANGA			
VOL/HORA/EQ	mov2/Total/h	mov4/Total/h	Total/h/pico	VOL/HORA/EQ	mov2/Total/h	mov3/Total/h	Total/h/Pico
17:00 – 18:00	1334	1019	2353	17:00 – 18:00	1334	528	1862
17:15 – 18:15	1354	908	2262	17:15 – 18:15	1354	497	1851
17:30 – 18:30	1304	935	2239	17:30 – 18:30	1304	477	1781
17:45 – 18:45	1249	962	2211	17:45 – 18:45	1249	482	1731
18:00 – 19:00	1240	923	2163	18:00 – 19:00	1240	472	1712

AV. MARIO YPIRANGA ANTES DO CRUZAMENTO COM RUA SALVADOR				AV. MARIO YPIRANGA APÓS O CRUZAMENTO DA RUA SALVADOR			
VOL/HORA/EQ	mov1/Total/h	mov3/Total/h	Total/h/Pico	VOL/HORA/EQ	mov1/Total/h	mov4/Total/h	Total/h/Pico
17:00 – 18:00	2195	528	2723	17:00 – 18:00	2195	1019	3214
17:15 – 18:15	2134	497	2631	17:15 – 18:15	2134	908	3042
17:30 – 18:30	2081	477	2558	17:30 – 18:30	2081	935	3016
17:45 – 18:45	1997	482	2479	17:45 – 18:45	1997	962	2959
18:00 – 19:00	2159	472	2631	18:00 – 19:00	2159	923	3082

Responsáveis

MINUZA LIRA
 Divisão de Estatística e Gestão de Informação

HANARA CARVALHO
 Gerente de Indicadores do Sistema Viário

KEIKO AIKAWA
 Supervisora de pesquisa

RAIMUNDO NOGUEIRA
 Supervisor de pesquisa

Visto: