



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS PAU DOS FERROS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

ROSANA CIBELY BATISTA REGO

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE REDUÇÃO DE TEMPO DE ESPERA DE PEDESTRE
PARA SEMÁFOROS VEICULARES**

PAU DOS FERROS - RN

2017

ROSANA CIBELY BATISTA REGO

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE REDUÇÃO DE TEMPO DE ESPERA DE PEDESTRE
PARA SEMÁFOROS VEICULARES**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Pau dos Ferros para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof^o. Dr. Rodrigo Soares Semente

PAU DOS FERROS - RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R343s Rego, Rosana Cibely Batista.
Sistema automático de redução de tempo de
espera de pedestre para semáforos veiculares /
Rosana Cibely Batista Rego. - 2017.
48 f. : il.

Orientador: Rodrigo Soares Semente.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2017.

1. pedestre. 2. semáforo. 3. detecção. 4.
sensor. I. Semente, Rodrigo Soares, orient. II.
Título.

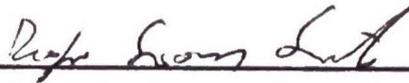
O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ROSANA CIBELY BATISTA REGO

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE REDUÇÃO DE TEMPO DE ESPERA DE PEDESTRE
PARA SEMÁFOROS VEICULARES**

Monografia apresentada no Campus Pau dos Ferros para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Aprovado em: *17 de 10 de 2017.*



Prof. Dr. Rodrigo Soares Semente -

UFERSA

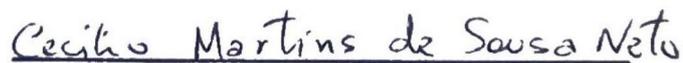
Orientador



Prof. Dr. Almir Mariano de Sousa Junior -

UFERSA

Membro da Banca



Prof. Dr. Cecílio Martins de Sousa Neto -

UFERSA

Membro da Banca

PAU DOS FERROS - RN

2017

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos deste trabalho vão para o projeto desenvolvido na UFERSA, Smart Cities: aplicação de atividades extensionistas como instrumento potencializador do desenvolvimento econômico no semiárido, em que foi nele que surgiu essa ideia da criação do sistema de detecção apresentado neste trabalho. Um projeto coordenado pelo professor Dr. Almir Mariano de Sousa Junior. E os agradecimentos vão também para meu orientador que aceitou orientar o desenvolvimento dessa ideia.

RESUMO

Com o aumento da frota de veículos, não só os condutores perdem tempo na espera nos semáforos como também os pedestres que perdem tempo esperando fechar o trânsito de veículos para poderem realizar a travessia da rua com segurança. Dessa forma, esse trabalho apresenta uma nova alternativa de um sistema de detecção de pedestres que possa substituir o sistema de pressionamento de botões, que é utilizado atualmente. O sistema apresentado neste trabalho é composto por sensores de presença, que podem ser infravermelho ou piezoelétrico. Diferente das botoeiras em que o usuário necessita pressioná-las, no sistema aqui proposto o usuário é detectado de forma automática seja por meio do raio infravermelho ou por meio do peso. O sistema tem a função de avisar ao controlador que existe a demanda da travessia, ou seja, quando não detectado pedestres, não vai fechar o semáforo desnecessariamente, além de proporcionar uma acessibilidade para as pessoas com necessidades especiais, permitindo atravessar a faixa de pedestres dos semáforos com segurança.

Palavras-chaves: pedestre, semáforo, detecção, sensor.

ABSTRACT

With the increase in the fleet of vehicles, not only drivers waste time waiting at traffic lights but also pedestrians who waste time waiting to close the vehicle traffic in order to safely cross the street. In this way, this work presents a new alternative of a pedestrian detection system that can replace the button press system, which is currently used. The system is available for content by presence sensors, which can be either infrared or piezoelectric. Different from the buttons in which the user needs to press the system of the User system and detected automatically by the middle of the infrared ray or by means of the weight. The system has a function to warn the controller that there is a demand for the crossing, that is, when no pedestrians are detected, will not close the traffic light unnecessarily, besides a source of accessibility for people with special needs, allowing to cross a range of pedestrians safely.

Keywords: pedestrian, traffic light, detection, sensor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimento conflitante no cruzamento.	12
Figura 2 - Exemplo de (a) rede aberta e (b) rede fechada.	15
Figura 3 - Diagrama de espaço x tempo.	15
Figura 4 - Escada do índice de interdependência.	17
Figura 5 - As operações devem ser coordenadas.	18
Figura 6 - Taxas de fluxo típicas em um movimento sinalizado.	20
Figura 7 - Botoeira - Localizada em Fortaleza na Av. Historiador Raimundo Girão. . .	23
Figura 8 - Funcionamento do ultrassônico com emissor e receptor no mesmo local. . .	25
Figura 9 - Sensor com material piezoelétricos detectando pressão.	26
Figura 10 - (a) Modo de detecção difuso. (b) Modo oposto de detecção.	27
Figura 11 - Detecção de pedestre utilizando câmera digital.	28
Figura 12 - Interseção utilizada no cenário do projeto com três semáforos veiculares e um para pedestre.	29
Figura 13 - Fluxograma simplificado do cálculo do tempo de verde para o semáforo que apresenta o sistema de diminuição de tempo para pedestre.	30
Figura 14 - Rede de Petri para modelagem do controle do cenário.	31
Figura 15 - Ilustração do sistema de detecção de pedestre para os dois casos.	32
Figura 16 - Circuito para o sensor infravermelho: (a) emissor e (b) receptor.	32
Figura 17 - Circuito para o sensor piezoelétrico.	33
Figura 18 - Simulação de interseção com densidade de pedestre que desejam atravessa a avenida: (a) Sem detecção de pedestre; (b) Com detecção de pedestre. . . .	34
Figura 19 - Tempo que os carros permanecem no cenário: Semáforo com tempo fixo; (b) Semáforo com tempo variável.	35
Figura 20 - Circuito implementado.	36
Figura 21 - Sensor infravermelho: (a) Emissor; (b) Receptor.	36
Figura 22 - Protótipo final: (a) Vista frontal; (b) Vista area.	37
Figura 23 - Circuitos: (a) Infravermelho; (b) Piezoelétrico; (c) LEDs.	37
Figura 24 - Comutação dos LEDs em um ciclo.	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVOS	11
2 CONCEITOS BÁSICOS DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO	12
2.1 CONTROLE DE INTERSEÇÕES	13
2.1.1 Controle isolado do cruzamento	14
2.1.2 Controle arterial de cruzamento (rede aberta)	14
2.1.3 Controle de cruzamentos em área (rede fechada)	16
2.2 PROGRAMAÇÃO DE PLANO DE TRÁFEGO	18
2.3 REGULAGEM DE SEMÁFOROS	19
2.3.1 Capacidade de uma aproximação	20
2.3.2 Cálculo do tempo de verde	22
2.4 PEDESTRES NO TRÂNSITO	23
3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS SENSORES DE PRESENÇA	25
3.1 SENSORES ULTRASSÔNICOS	25
3.2 SENSORES PIEZOELÉTRICOS	26
3.3 SENSORES INFRAVERMELHO	27
3.4 SENSORES BASEADO EM IMAGEM	27
4 METODOLOGIA	29
4.1 SISTEMA DE DETECÇÃO	31
5 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS	34
5.1 SIMULAÇÃO EM UMA INTERSEÇÃO COM DETECÇÃO DE PEDESTRE	34
5.2 PROTÓTIPO	35
5.3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS	38
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	42
APÊNDICES	43

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades e urbanização das mesma provocou um crescimento no número de automóveis no país, já que as pessoas procuraram meios de deslocar-se de um lugar para outro. De acordo com os dados do Denatran, hoje tem-se em média uma frota de 51 milhões de automóveis (DENATRAN, 2016). Com o aumento da frota foi necessário aumentar também o número de interseções semaforizadas, tendo como objetivo proporcionar maior segurança à travessia de pedestres e veículos.

O semáforo é um bom controlador de trânsito principalmente nas interseções, porque ele intervém no direito de passagem para os diferentes movimentos de veículos e pedestres, diminuindo assim os conflitos e aumentando a capacidade de escoamento, além de organizar o trânsito (ARAÚJO, 2006).

Existem dois tipos de semáforos, os veiculares e os de pedestres. O principal objetivo do semáforo veicular é autorizar ou proibir o movimento de veículos em uma via. E os dos pedestres é autorizar ou proibir a passagem das pessoas (KOONCE et al., 2008). O foco deste trabalho é nos semáforos veiculares, onde é apresentado uma alternativa para detecção de pessoas que desejam atravessar a faixa de pedestres e, portanto, possibilitar a travessia delas em um menor período de tempo possível.

Pensando em beneficiar os pedestres que perdem tempo esperando fechar o trânsito de veículos para poderem realizar a travessia da rua com segurança, foi realizado a instalação de botoeiras em pontos estratégicos em várias cidades do país. Essas botoeiras tem como objetivo informar ao controlador do semáforo a presença do pedestre. No entanto, nem sempre essas botoeiras são acessíveis para todas as pessoas, principalmente para as que apresentam necessidades especiais.

Segundo Zegeer (2002), quando utilizados, os botões de pressão devem ser bem acessíveis ao alcance e operáveis a partir de uma superfície plana para pedestres em cadeiras de rodas e com deficiências visuais. Eles devem ser convenientemente colocados na área onde os pedestres esperam para cruzar a rua. No entanto, ainda existe uma dificuldade para os deficientes visuais localizarem o botão.

Atualmente a detecção de pedestres é limitada na maioria dos casos ao pressionamento de botões (KOONCE et al., 2008). Pensando nisto esse trabalho propõe um sistema de detecção de pedestre para ser utilizado em conjunto com os semáforos.

Neste contexto, este trabalho destina-se a especificar, analisar e ensaiar sensores de presença (infravermelho e piezoelétrico) para detecção de pedestres para ser instalados em semáforo com o objetivo de diminuir o tempo de espera de pedestre, aumentando a eficiência tanto do trânsito de veículos como de pedestres.

Desse modo, no capítulo dois é apresentado um domínio teórico a respeito dos conceitos básicos da engenharia de tráfego, tais como controle de interseções, programação de plano de

tráfego e termos de temporização.

No capítulo três é estudado o princípio de funcionamento dos sensores de presença ultrassônico, piezoelétrico, infravermelho e baseado em imagem, que podem ser utilizados para detectar pedestres.

O capítulo quatro destina-se a apresentação da metodologia adotada e da apresentação do sistema proposto neste trabalho.

No capítulo cinco é mostrado os resultados e implementação bem como as vantagens de se utilizar um sistema de detecção.

E no capítulo seis é apresentada as considerações finais do trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização do semáforo em conjunto com um sistema de diminuição do tempo de espera para os pedestres beneficia não apenas o condutor como também todos os pedestres, sejam eles deficientes físicos ou visuais, idosos ou crianças. Esse sistema forneceria uma acessibilidade para as pessoas com necessidades especiais ao atravessar a faixa de pedestres dos semáforos com segurança, já que os pedestres são detectados de forma automática.

1.2 OBJETIVOS

- **Objetivo Geral:**

- O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de detecção automática de pedestres.

- **Objetivos Específicos:**

- Simular um protótipo de um sinal de trânsito com o software *AnyLogic*.
- Desenvolver uma solução que permita detectar pedestres que desejam atravessar a faixa com segurança utilizando sensores de presença.

2 CONCEITOS BÁSICOS DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO

As avenidas e ruas são o meio físico de circulação dos veículos, portanto elas devem ser projetadas para se adaptar ao volume de tráfego passante diariamente (ARAÚJO, 2006) . Em um cruzamento entre duas ou mais vias, como na Figura 1, existem movimentos que não podem ser realizados simultaneamente, pois são conflitantes entre si. (DENATRAN, 1984)

Na Figura 1 tem-se um movimento conflitante no cruzamento. Para evitar os conflitos é necessário estabelecer normas de controle do direito de passagem, tanto para veículos como para pedestres.

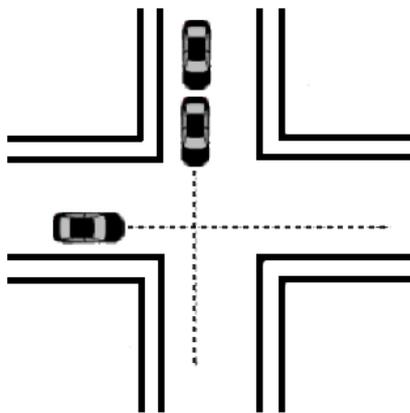


Figura 1: Movimento conflitante no cruzamento.

Fonte: Autor.

Segundo o DENATRAN (1984) os conflitos entre veículos são facilmente resolvidos pela regra do primeiro a chegar é o primeiro a atravessar, em vias que apresentam baixo fluxo de tráfego. Porém nas ruas muito movimentadas essas regras não são válidas. Assim é necessário estabelecer novas regras de prioridade entre as aproximações do cruzamento para permitir a travessia da interseção. E um bom equipamento para estabelecer regras de autorização e proibição de movimentos em uma interseção é o semáforo.

O semáforo é um dispositivo de controle de tráfego que estabelece o direito de passagem de veículos ou pedestres, por meio das indicações luminosas transmitidas. Ele é composto de focos luminosos afixados em grupos ao lado da via ou suspensos sobre ela por meio de postes de fixação. (DENATRAN, 1984)

Existem dois tipos de semáforos, os veiculares e os de pedestres. O semáforo veicular é um dispositivo normalmente composto de três focos de luz de cores distintas, um de cor vermelha, outro de cor amarela e um de cor verde. Cada um delas tem um significado regulamentado no Código de Trânsito Brasileiro, Brasil (2008), como descrito:

- Verde: os condutores de veículos podem seguir em frente;

- Vermelho: os condutores devem parar os veículos antes de entrar na interseção e permanecer parados até receber autorização para seguir em frente, seja pela sinalização da luz verde ou por uma autoridade legal;
- Amarelo: os condutores devem parar o veículo antes de entrar na região de cruzamento e permanecer parados até receber autorização de seguir em frente através da luz verde ou por uma autoridade legal.

O principal objetivo do semáforo veicular é autorizar ou proibir o movimento de veículos em uma via. Já os semáforos para pedestres são dispositivos compostos por dois focos de seção quadrada ou retangular. A indicação é feita através de máscara, agregada à parte interna de lente dos focos contendo legendas ou representações de bonecos humanos para as condições de movimento e espera (DENATRAN, 1984), (ARAÚJO, 2006).

O tempo de cada indicação luminosa é denominado de estágio ou intervalos, enquanto a sequência de luzes (verde, amarelo e vermelho) em cada aproximação é denominada fase. O tempo total para a completa sequência luminosa em todas as aproximações é denominado ciclo. E o tempo entre o fim do verde de uma fase (perda do direito de passagem) e o início de outra é denominado período entreverdes e geralmente possui a mesma duração do estágio amarelo (DENATRAN, 1984).

2.1 CONTROLE DE INTERSEÇÕES

O controle de passagem para os veículos realizar travessia nos cruzamentos de vias é dado por meio da indicação luminosa de um semáforo. A comutação das luzes de um semáforo é realizada por um controlador de tráfego, sendo este dividido em controlador de tempo fixo ou por demanda de tráfego (controlador atuado) (ARAÚJO, 2006).

Em controladores de tempo fixo os tempos de verde e vermelho serão sempre os mesmos, ou seja, o tempo do ciclo é constante. Portanto, a duração e os instantes de mudanças dos estágios são constantes (KOONCE et al., 2008). O tempo de ciclo, duração e instantes de início dos estágios constituem um conjunto de parâmetros denominados planos de tráfegos, cujo valores são programados no controlador. A duração dos estágios é calculada em função das características e volumes médios do tráfego no cruzamento.

Em controladores por demanda de tráfego o tempo é variável, isto é, ele estabelece um tempo de verde a cada corrente de tráfego de acordo com sua necessidade, ajustando-se dinamicamente às flutuações de tráfego que podem ocorrer num cruzamento. Esse tipo de controlador possui uma lógica de decisão e sensores de presença para detecção de veículos conectados a ele. O funcionamento baseia-se na variação do tempo em verde associado a um determinado estágio, entre um valor mínimo e um valor máximo. Se em um determinado período

todas as correntes de tráfego atingirem a saturação, os tempos de verde serão alterados para o valor máximo, e o controlador de tráfego se comportará como sendo do tipo tempo fixo (ARAÚJO, 2006), (DENATRAN, 1984).

Existem várias formas de estratégia para se efetuar o controle do tráfego com o controlador, essas estratégias baseiam-se em três políticas de controle: Controle isolado do cruzamento, controle arterial de cruzamento e controle de cruzamentos em área.

2.1.1 Controle isolado do cruzamento

Para determinar qual tipo de controlador (tempo fixo ou atuado) mais adequado para operar na interseção, deve-se considerar o atraso veicular e a capacidade de interseção (KOONCE et al., 2008).

O atraso veicular é o tempo perdido pelo veículo durante o período de vermelho (atraso de parada) e a necessidade de acelerar ou desacelerar devido a formação e destruição de fila no cruzamento. Por outro lado, a capacidade de interseção é a quantidade máxima de veículos que conseguem atravessar o cruzamento em um intervalo de tempo (DENATRAN, 1984).

É conveniente utilizar o controlador que produza um atraso mínimo e uma capacidade máxima. Para realizar o controle de uma interseção com o controlador de tempo fixo, é necessário um plano de tráfego. Já utilizando um controlador atuado a duração dos estágios deixa de ser constante e passa a ser variada de acordo com o número de veículos detectados.

Um dos problemas encontrados na utilização de controladores atuados é o ajuste dos parâmetros para atender as condições do volume do tráfego. Outro problema também é o processo aleatório da chegada de veículos no cruzamento. Estudos mostraram que a melhor forma de estimar o tráfego de chegada em um cruzamento é através da distribuição de *Poisson* (DENATRAN, 1984).

2.1.2 Controle arterial de cruzamento (rede aberta)

O controle arterial de cruzamento (rede aberta) tem como objetivo operar os semáforos ao longo de uma via arterial para estabelecer um sistema progressivo de tempos de verde, resultando na máxima continuidade de fluxo entre as interseções adjacentes e mínima interrupção do tráfego.

Os semáforos dos cruzamentos da via arterial são considerados como um todo e não apenas individualmente (Figura 2 a). Os sistemas artérias formam o que comumente se denomina rede aberta, diferente de rede fechada (malha urbana) como na Figura 2 b. (DENATRAN, 1984)

Essa proposta de controle e todas as outras tem como princípio básico o fato de que os veículos ao receberem autorização de movimento atravessam o cruzamento em conjunto e assim continuam até alcançar o semáforo seguinte.

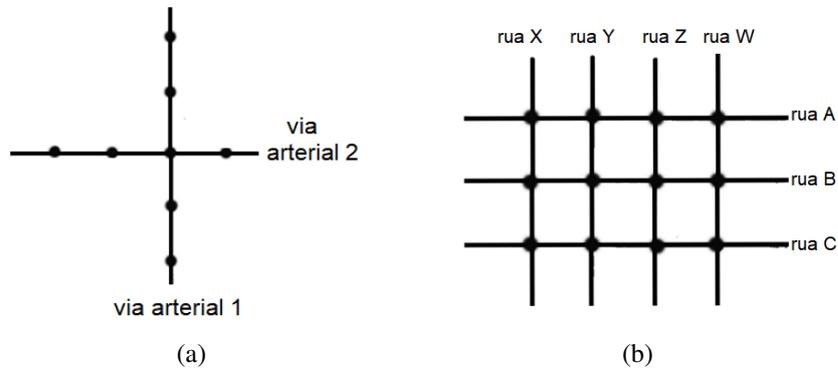


Figura 2: Exemplo de (a) rede aberta e (b) rede fechada.
Fonte: DENATRAN (1984).

O controle dos semáforos é realizado por meio do ajuste da defasagem entre eles. Chama-se defasagem a diferença de tempo entre a abertura do primeiro semáforo para o segundo (DENATRAN, 1984). O conceito de controle do fluxo de tráfego em vias arteriais é representado na Figura 3.

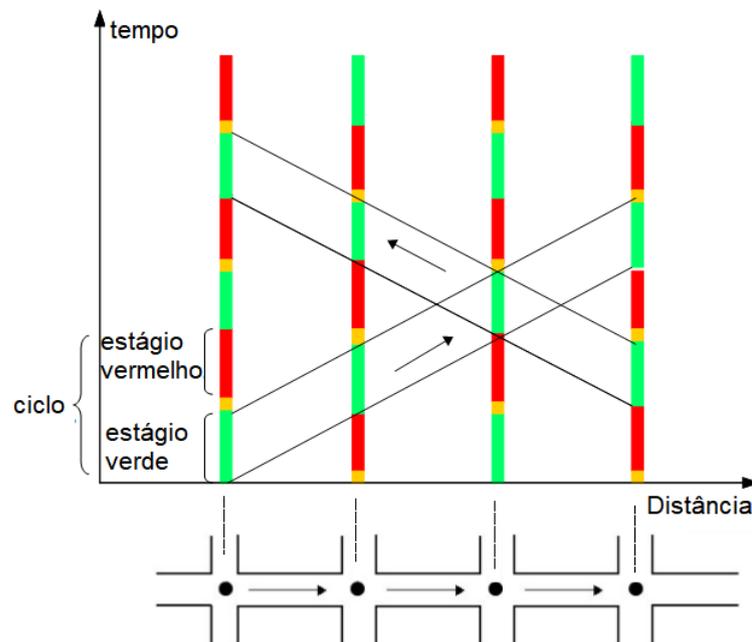


Figura 3: Diagrama de espaço x tempo.
Fonte: DENATRAN (1984).

De acordo com a Figura 3 a inclinação da reta representa a velocidade que os veículos devem ter ao longo do percurso na via principal. Chama-se banda de passagem o espaço entre as duas retas paralelas. A inclinação da banda de passagem, que representa a velocidade de progressão do tráfego é chamada de velocidade de banda. A largura da banda de passagem

representa o intervalo de tempo, em segundos, disponível para um veículo transpor a distância compreendida entre uma interseção e a seguinte.

Segundo o DENATRAN (1984) existem vários fatores que afetam os planos de tráfego em sistemas arteriais (rede aberta), tais como:

- Distância entre as interseções sinalizadas: o espaço entre semáforos adjacentes em uma via arterial devem variar de 50m á 600m.
- Operação da via: as vias de mão dupla e mão única devem ser tratadas de forma distintas. Geralmente em vias de mão dupla é mais difícil estabelecer-se uma progressão para ambos os sentidos.
- Número de estágios e fases das interseções: algumas vias apresentam interseções simples, com duas fases e dois estágios, enquanto outras demandam estágios especiais.
- Perfil de chegada à interseção: os veículos podem chegar na interseção de forma uniforme (com uma taxa constante) ou em blocos. Quando eles chegam de forma uniforme, reduz-se a necessidade de coordenação dos semáforos.
- Flutuações do tráfego ao longo do dia: as características de chegada e fluxo variam consideravelmente ao longo do dia.

2.1.3 Controle de cruzamentos em área (rede fechada)

Com o aumento da demanda de viagens, os principais corredores de tráfegos sofreram maiores solicitações, tornando-se cada vez mais congestionados. Assim os motoristas passaram a procurar e utilizar vias secundárias e residenciais. Por consequência disso os semáforos que eram instalados apenas nas grandes avenidas, passaram a ser necessários em vários cruzamentos da malha viária urbana gerando assim uma extensa rede de semáforos. (DENATRAN, 1984)

As redes fechadas normalmente ocorrem nas áreas centrais da cidade. As propostas de controle para esse tipo de rede divide-se em três categorias segundo DENATRAN (1984):

- a) Sistemas que utilizam planos de tempo fixo: baseado em dados históricos de comportamento do tráfego na região.
- b) Sistemas semi atuados: sistemas em que cada interseção da rede é atuada localmente por um controlador, que efetua as mudanças de estágio em função de detecção de veículos. A flexibilidade de atuação está em um plano de coordenação previamente calculado.

- c) Sistema totalmente atuados: onde os períodos de verde são calculados em função da quantidade de veículos detectados.

No controle de cruzamentos em área, os cruzamentos devem ser agrupados e controlados de forma conjunta e coordenada. Vários fatores devem ser considerados no controle de interseções em sub áreas, alguns dos fatores são: a relação geográfica, isto é, a distância entre as interseções, o volume de tráfego e as características do fluxo, isto é, se a taxa de chegada de veículos for constante ao longo do ciclo então o período de vermelho produzira os mesmos valores de atrasos e paradas. Entretanto, se chegada dos veículos ocorre em bloco, a coordenação dos semáforos permitirá a redução do tempo de espera.

Para saber a necessidade de coordenação entre dois cruzamentos sinalizados, pode-se calcular o índice de interdependência que é dado pela equação,

$$i = \frac{1}{2(1+t)} \left(\frac{xq_{max}}{\sum_{n=1}^k q_n} - 1 \right) \quad (1)$$

em que t é o tempo de percurso entre ambos os semáforos (minutos), x é o número de faixas, q_{max} é o fluxo direto procedente do trecho anterior (veículos/hora) e q_n é o fluxo total que chega à interseção (veículos/hora).

O índice de interdependência pode assumir valores de 0 á 1, quando $i = 0$ não há dependência e quando $i = 1$ indica uma forte dependência.

Na Figura 4 tem-se a escada do índice de interdependência, em que com o índice entre 0 e 0.34 deve-se usar o controle isolado. Entre 0.35 e 0.45 o controle pode ser isolado ou coordenado. E para $i > 0.45$ deve-se utilizar semáforos coordenados.

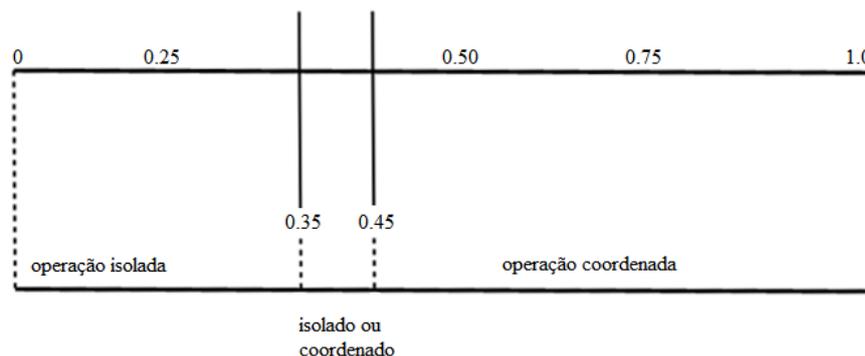


Figura 4: Escada do índice de interdependência.
Fonte: DENATRAN (1984).

Exemplo: Considera a interseção na Figura 5 em que tem-se um fluxo direto procedente do trecho anterior de 1000 veículos/hora e um fluxo total de 1100. Aplicando a equação 1 obtém-se que neste exemplo as operações devem ser coordenadas, pois $i > 0.45$.

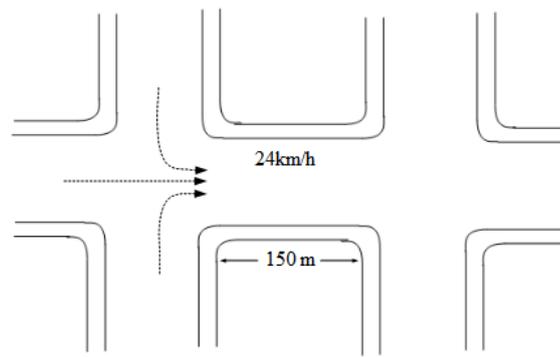


Figura 5: As operações devem ser coordenadas.
Fonte: DENATRAN (1984).

Convertendo a velocidade km/h para m/min tem-se

$$V_m = 24 \text{ km/h} = \frac{24000}{60} = 400 \text{ m/min.} \quad (2)$$

Sabendo que a velocidade é dado por a distância multiplicado pelo tempo, tem-se que o tempo é dado por,

$$t = \frac{\text{distância}}{V_m} = \frac{150}{400} = 0.37 \text{ min.} \quad (3)$$

Portanto o índice de interdependência para esse exemplo é dado por,

$$i = \frac{1}{2(1 + 0.37)} \left(\frac{(3)1000}{1100} - 1 \right) = 0.63. \quad (4)$$

2.2 PROGRAMAÇÃO DE PLANO DE TRÁFEGO

Um dos principais recursos disponíveis pelo controlador de tráfego é a possibilidade de programação de planos de tráfegos (ARAÚJO, 2006). Denomina-se plano de tráfego ao conjunto de elementos que caracteriza a programação da sinalização semafórica para uma interseção ou sessão de via, num determinado período do dia (DENATRAN, 1984).

Para programar um semáforo é necessário definir antes um plano de tráfego. O Manual de Semáforos define onze etapas a serem seguidas para elaborar um plano de tráfego para um semáforo isolado as quais serão apresentadas nas sessões seguintes.

Segundo Krauss (2014) o plano de tráfego tem como função alterar os tempos dos estágios na estrutura programada, de forma a acomodar as condições de tráfego que circula pelo cruzamento em determinado momento. No entanto, devido a variações no sentido do fluxo de

veículos e pedestres nos horários de pico, o uso de planos de tráfego em semáforos com tempo fixo pode não ser o ideal. Para que haja uma maior flexibilidade é necessário que o tempo de ciclo, percentagem dos tempos de verde de cada fase (entreverdes) e defasagem sejam variáveis que possam ser modificadas.

A defasagem é o intervalo de tempo decorrido entre o início do verde que uma corrente de tráfego que passa por dois locais semaforizados pertencentes à mesma rede recebe nesses locais (KOONCE et al., 2008). Por exemplo em ruas de mão dupla pode não ser possível adotar uma defasagem ótima para ambos os sentidos, pois o que pode ser bom para um sentido atrapalha o seu inverso. A solução mais viável nestes casos é escolher uma defasagem que favoreça o sentido de maior movimento.

Abaixo é definido os termos utilizados na temporização dos semáforos segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (DENATRAN, 2014).

- Tempo de ciclo: tempo necessário para que um ciclo inteiro seja cumprido em uma interseção, ou sessão de via, sendo este determinado pela soma dos tempos de todos os estágios programados para o controle do tráfego no local.
- Estágios: intervalo de tempo em que um ou mais grupos de movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem, compreendendo o tempo de verde e o tempo de entreverdes que o segue.
- Entreverdes: intervalo de tempo compreendido entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente. Se o controlador de tráfego dispuser de períodos de entreverdes variável, poder-se-ia configurar o controlador para, durante um período reservar mais tempo de verde para uma aproximação 2 e durante um outro período reservar mais tempo para uma aproximação 1.

2.3 REGULAGEM DE SEMÁFOROS

Para realizar o controle das interseções é necessário regular o semáforo, isto significa desenvolver planos de tráfego que realizem um bom controle, baseado por exemplo no mínimo atraso de veículos (KOONCE et al., 2008).

Segundo DENATRAN (1984), regular um semáforo significa determinar o tempo de ciclo ótimo de interseção, calcular os tempos de verde necessários para cada fase e calcular as defasagens entre os semáforos adjacentes, se necessário.

Dentre os vários métodos existentes para regular um semáforo, no Brasil o método utilizado é o método de divisão proporcional conhecido por Método de Webster. Nas subsecções seguintes será definido os parâmetros necessário para regular um semáforo.

2.3.1 Capacidade de uma aproximação

A capacidade de uma aproximação sinalizada é definida como sendo o número máximo de veículos capazes de atravessar um cruzamento. Portanto, a capacidade de uma via interrompida por um semáforo é determinada pelo fluxo de saturação (DENATRAN, 1984). Matematicamente a capacidade (c) é dada por,

$$c = S \frac{g_{ef}}{C}, \quad (5)$$

em que S é fluxo de saturação, g_{ef} é o tempo de verde efetivo e C é o tempo de ciclo.

O fluxo de saturação é definido como sendo o fluxo que seria obtido se houvesse uma fila de veículos na aproximação e a ela fossem dados 100% de tempo de verde do cruzamento, isto é, um escoamento ininterrupto (DENATRAN, 1984).

Logo é evidente que o tempo de verde disponível não é igual ao tempo de verde utilizado. Existe uma perda no início do tempo e um ganho ao final, com o tempo de amarelo. Como tem-se na Figura 6.

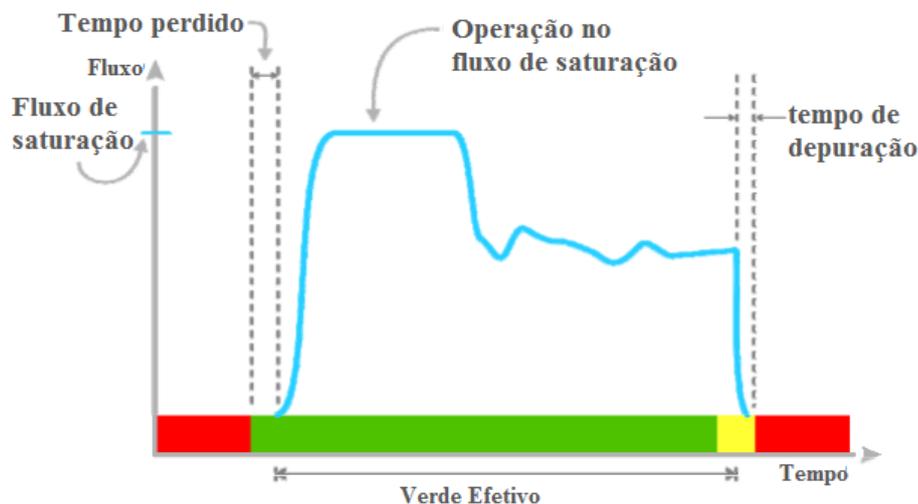


Figura 6: Taxas de fluxo típicas em um movimento sinalizado.

Fonte: Adaptado de (KOONCE et al., 2008).

O tempo verde efetivo é dado por

$$g_{ef} = G + Y + R - (l_1 + l_2), \quad (6)$$

em que G é o tempo de verde normal, Y é o tempo de amarelo, R é o tempo de vermelho, e $l_1 - l_2$ é o tempo perdido, que é dado pelo tempo perdido inicial (l_1), e o tempo perdido de depuração (l_2).

O tempo verde mínimo para o pedestre é dado por,

$$g_p = pw + pc, \quad (7)$$

em que pw é a duração do intervalo de caminhada e pc é o intervalo de depuração para o pedestre.

Os intervalos associado a cada fase de sinal incluem: o intervalo de tempo verde veicular efetivo, os intervalos de mudança e liberação de veículos e os intervalos para passagem dos pedestres.

Segundo o DENATRAN (1984), a obtenção do tempo de verde depende do conhecimento dos valores de fluxo de saturação das aproximações e do tempo perdido no início e fim do período de verde de cada fase. O ideal é obter esses parâmetros *in loco*, entretanto quando não for possível obter-los pode-se usar fórmulas que foram deduzidas a partir do estudo das interseções. Essas formulas são obtidas no manual de semáforo.

Para aproximações sem veículos estacionados, sem conversão à esquerda e até 10% dos carros realizarem conversões à direita, o fluxo de saturação pode ser dado por

$$S = 525 \cdot L, \quad (8)$$

em que S é fluxo de saturação em veículos equivalentes por hora de tempo de verde (V_{eq}/htv), e L é largura da aproximação (m).

Os veículos podem atravessar o cruzamento durante o período de amarelo. Assim o tempo total disponível para o escoamento do tráfego em uma aproximação é dado pelo o início do tempo de verde ao fim do tempo de amarelo. Mas devido à reação e aceleração no início do período verde (denominado atrasos iniciais) e a redução de fluxo (desaceleração no período de amarelo), o tempo total disponível não é aproveitado (ARAÚJO, 2006). Portanto tem-se um tempo perdido que é dado pela diferença entre o período de verde efetivo com a soma dos tempos de verde e amarelo, como segue a equação

$$T = (G + Y) - g_{ef}, \quad (9)$$

em que T é o tempo perdido, G é o tempo verde normal, Y é o tempo de amarelo e g_{ef} é o tempo verde efetivo.

Segundo o DENATRAN (1984), para evitar tempos longos de amarelo e desrespeito dos motoristas, é recomendado colocar além do tempo de amarelo, dois ou três segundos de vermelho coincidentes com o vermelho de outras fases do cruzamento. Este procedimento é denominado de vermelho geral.

O vermelho geral é dado por o tempo perdido total como segue a equação,

$$T_p = \sum_i^n T_i + \sum_i^n (T - Y_i), \quad (10)$$

em que T_p é o tempo total perdido por ciclo, T_i é o tempo perdido da fase i , T é o período de vermelho geral e Y_i é o tempo de amarelo da fase i todos em unidade de segundo.

2.3.2 Cálculo do tempo de verde

Para controladores de semáforos de tempo fixo, o tempo de verde é constante. Entretanto, para semáforos de tempo não fixo é necessário fazer a verificação constantemente da demanda nas aproximações e calcular o tempo em verde que as vias necessitam. Para realizar o cálculo do tempo em verde é preciso saber a quantidade de veículos que estão na via. A engenharia de tráfego define a rotina que deve-se usar para estabelecer um tempo de verde. Abaixo tem-se os passos necessários para estabelecer um tempo de verde.

1. Verificar a demanda da aproximação, que é dada em função do fluxo de saturação e a taxa de ocupação da aproximação, como segue

$$q_i = y_i S_i. \quad (11)$$

2. Calcular a taxa de ocupação da aproximação (y_i) que é dada pela razão da demanda da aproximação q_i e pelo fluxo de saturação da aproximação S_i , como segue

$$y_i = \frac{q_i}{S_i}. \quad (12)$$

3. Realizar o somatório das taxas de ocupação (Y).
4. Calcular o tempo perdido (T_p).
5. Calcular o ciclo ótimo que é dado em função do tempo perdido e do somatório das taxas de ocupações (Y), tal que

$$C_o = \frac{1.5T_p + 5}{1 - Y}. \quad (13)$$

6. Determinar o tempo de verde efetivo para cada aproximação g_{ef} .
7. Calcular a média entre o tempo de verde anterior e o tempo de verde encontrado.

Após esses passos obtém-se o tempo de verde para se aplicar em cada aproximação.

2.4 PEDESTRES NO TRÂNSITO

O código de trânsito brasileiro foi promulgado em 23 de Setembro de 1997. Os pedestres são beneficiados com o código porque passaram a ser mais respeitados no trânsito, em contrapartida, tiveram mais direitos e deveres para cumprir podendo até serem multados se não cumprissem certas regras.

Para evitar os conflitos é necessário estabelecer normas de controle do direito de passagem, tanto para veículos como para pedestres. Pensando em aumentar a eficiência do trânsito e manter o direito do pedestre na travessia das avenidas foi instalado um sistema de diminuição de tempo dos semáforos através do toque a botoeira em varias capitais no país (Rio de Janeiro, São Paulo, Fortaleza, Recife, etc.), permitindo assim ao pedestre diminuir o tempo de espera para atravessar com segurança.

Na Figura 7 tem-se uma foto de uma botoeira localizada na capital do Ceará. Foi observado que deficientes físicos cadeirantes e deficientes visuais não têm fácil acesso a esse sistema.



Figura 7: Botoeira - Localizada em Fortaleza na Av. Historiador Raimundo Girão.

Fonte: Autor.

A Botoeira tem a função de avisar o controlador que existe a demanda da travessia, ou seja, quando não acionada, não vai fechar o semáforo desnecessariamente. Portanto, é necessário que o pedestre aperte o botão e aguarde a entrada do seu tempo (quando o foco para pedestre estiver verde) para a realização da travessia com segurança.

Segundo Zegeer (2002), quando utilizados, os botões de pressão devem ser bem acessíveis ao alcance e operáveis a partir de uma superfície plana para pedestres em cadeiras de rodas e com deficiências visuais. Eles devem ser convenientemente colocados na área onde os pedestres esperam para cruzar a rua. No entanto, ainda existe uma dificuldade para os deficientes visuais localizarem o botão. Logo é necessário a criação de uma forma mais eficiente de detecção de pedestres.

3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS SENSORES DE PRESENÇA

Os sensores tornaram-se elementos fundamentais nos processos de automação e nos processos industriais, por atuarem de forma precisa e rápida. Dentre os diversos tipos de sensores, existe os sensores de presença. Eles são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, isto é, eles permitem obter informações do meio e interagir com o mesmo. Por meio dos sensores, é possível realizar leitura de determinadas características do ambiente tais como luminosidade, temperatura, pressão, velocidade, posição etc (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Neste capítulo serão discutidos os sensores de presença: ultrassônico, piezoelétrico, infravermelho e baseado em imagem.

3.1 SENSORES ULTRASSÔNICOS

O sensor ultrassônico é um sensor de presença e distância. Ele emite pulso de som e calcula o tempo que leva para que o pulso seja refletido e retorne ao sensor. De acordo com Klein, Mills e Gibson (2006) os sensores ultrassônicos transmitem ondas de pressão de energia sonora em frequências entre 25 e 50 kHz, as quais estão acima da faixa auditivas pelo ser humano.

A Figura 8 apresenta o funcionamento de um sensor ultrassônico. Em que as ondas são transmitida em forma de um cone e ao encontrar um objeto esta onda é refletida de volta ao sensor, passando a informação a respeito da distância do objeto e a velocidade de deslocamento do mesmo.

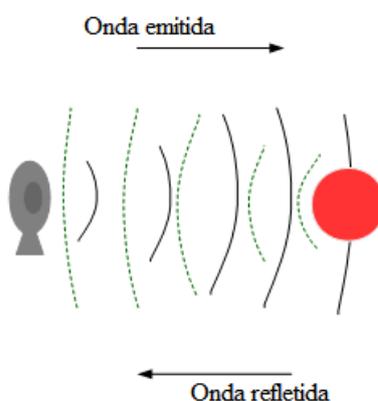


Figura 8: Funcionamento do ultrassônico com emissor e receptor no mesmo local.

Fonte: Autor.

Segundo Mazzaroppi (2007), existem algumas variáveis que podem afetar a propagação

e reflexão das ondas sonoras, tais como: ângulo de superfície do alvo, a aspereza da superfície reflexiva ou mudança na temperatura e umidade. E o formato do objeto afeta a quantidade de energia sonora refletida.

É necessário uma distância mínima do sensor para promover um atraso no tempo de modo que os ecos possam ser interpretados. Segundo Thomazini e Albuquerque (2011) a temperatura pode influenciar o sensor. Uma das vantagens do sensor ultrassônico é que além de detectar a presença ele também mede a distância.

3.2 SENSORES PIEZOELÉTRICOS

Os sensores piezoelétricos são sensores de pressão. De acordo com Mazaroppi (2007) estes sensores são comumente utilizados no piso, sob tapetes para detectar a presença de objetos ou pessoas em uma determinada superfície.

A piezeletricidade é a capacidade que alguns cristais possuem de gerarem corrente elétrica em resposta a uma pressão mecânica exercida sobre o mesmo. O efeito piezoelétrico consiste no aparecimento de uma polarização eléctrica, entre faces opostas de um dado material quando este é submetido a uma tensão mecânica entre essas mesmas faces.

Na Figura 9 é ilustrado o fato de que com uma deformação do material faz com que apareçam tensões elétricas nas faces do material.

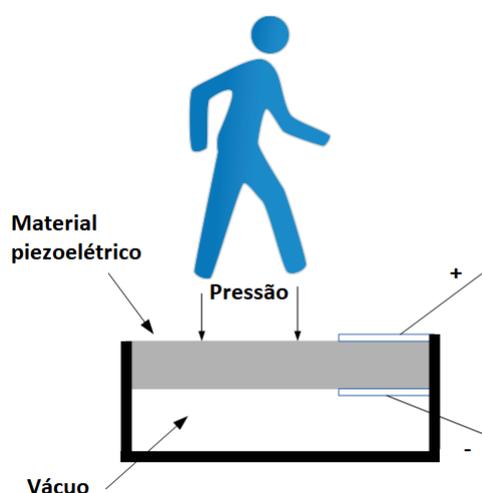


Figura 9: Sensor com material piezoelétricos detectando pressão.

Fonte: Autor.

Atualmente esses sensores estão sendo bastante utilizados para gerar energia sem produção de subprodutos poluentes, os conhecidos pisos geradores de energia. Em que por meio do

movimento das pessoas sobre o piso é gerado a diferença de potencial e toda essa energia gerada pela movimentação das pessoas sobre o piso abastece os sistemas de luz ou som.

3.3 SENSORES INFRAVERMELHO

Os sensores infravermelho normalmente possui dois dispositivos, um que emite (emissor) e outro que recebe (receptor) os raios infravermelhos. O emissor e o receptor formam um feixe infravermelho e, quando este feixe é interrompido, o sensor envia o sinal de detecção ao controlador. Eles podem ser ativos ou passivos. Os sensores passivos não transmitem energia, apenas recebem. Diferente dos ativos que possuem sua própria fonte de radiação.

Os sensores infravermelho podem estar na configuração ou modo oposto de detecção em que o emissor emite um raio infravermelho e o receptor recebe o raio. O sensor detecta uma pessoa ou objeto quando o raio é interrompido (Figura 10 b). Eles também podem estar no modo de detecção difuso, em que o emissor e receptor estão no mesmo encapsulamento e ao detectar o objeto ou pessoa o raio infravermelho é refletido (Figura 10 a).

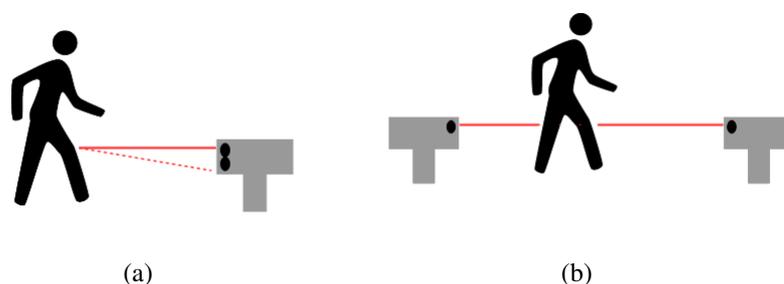


Figura 10: (a) Modo de detecção difuso. (b) Modo oposto de detecção.
Fonte: Autor.

Segundo Klein, Mills e Gibson (2006) a energia capturada pelos sensores infravermelhos ativos e passivos é focada por um sistema óptico em um material sensível ao infravermelho montado no plano focal da óptica. Este material converte a energia refletida e emitida para sinais elétricos.

3.4 SENSORES BASEADO EM IMAGEM

Barbeta (2010) propôs em seus estudos o uso de uma câmera de vídeo como sensor de presença, utilizando técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), detectando o

movimento ao analisar os quadros capturados por uma webcam.

As câmeras de vídeo foram introduzidas no gerenciamento de tráfego para a vigilância da estrada com base na sua capacidade de transmitir imagens em TV para um operador humano interpretar. Os gerentes de tráfego atuais utilizam processamento de imagem de vídeo para analisar automaticamente a cena de interesse e extrair informações para vigilância e gerenciamento de tráfego (KLEIN; MILLS; GIBSON, 2006).

Essas câmeras podem ser utilizadas para detecção de pedestre como Walikar (2016) propõe um sistema de detecção de pedestre utilizando processamento de imagem, em que uma câmera captura imagens e as imagens são processadas no controlador para verificar a existência de pedestres (Figura 11).

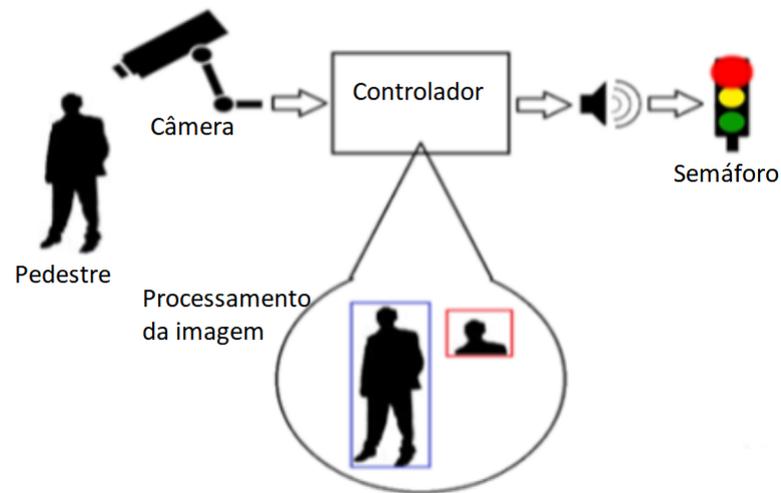


Figura 11: Detecção de pedestre utilizando câmera digital.
Fonte: Adaptado de Walikar (2016).

4 METODOLOGIA

O cenário para realizar a simulação do sistema é apresentado na Figura 12 sendo este composto por três avenidas que se cruzam, sendo duas via arterial (avenida principal) de duas faixas e uma via de ligamento (avenida secundária) de uma faixa. Neste cenário o semáforo de pedestre estará interligado apenas ao Semáforo 1 da avenida secundária, por isso será simulado o sensor de presença para pedestre apenas nessa avenida. Portanto quando o pedestre for detectado o semáforo veicular deve realizar a transição de estado do verde para amarelo, e do amarelo para o vermelho, possibilitando a passagem do pedestre no menor período de tempo possível.

Os movimentos possíveis nesta interseção são seis. E todos os movimentos são conflituosos. Portanto é necessário utilizar o semáforo em cada via para fazer o controle.

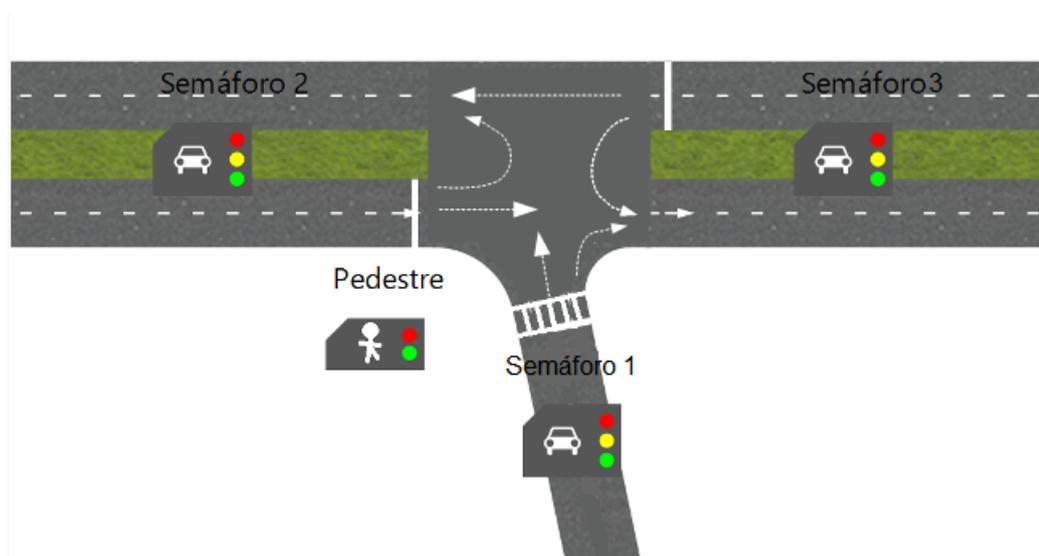


Figura 12: Interseção utilizada no cenário do projeto com três semáforos veiculares e um para pedestre.

Fonte: Autor.

A máxima velocidade permitida nas vias principais é de 50 Km/h, e na via secundária é de 40 Km/h. Portanto a velocidade mínima seria de 25 Km/h para as vias principais e 20 Km/h para a via secundária. Para calcular a saturação das vias será utilizado a equação 8. Foi considerado as vias principais com 9m e secundária com 6m de largura (Tabela 1).

	Via Princial	Via Secundaria
Saturação (S)	$4725 V_{eq}/htv$	$3150 V_{eq}/htv$
Tempo Amarelo (Y)	0.86s	1.61s

Tabela 1: Parâmetro utilizados.

Os tempos amarelos devem garantir uma travessia segura dos condutores. De acordo com os valores obtidos como mostra na Tabela 4, o veículo que trafega na avenida principal precisa de 0.86s para atravessar a interseção, isto é,

$$\frac{25Km/h}{3.6} = 6.94m/s \implies \frac{6m}{6.94} = 0.86s. \quad (14)$$

Já o veículo que passa na avenida secundaria precisa de 1.61s.

$$\frac{20Km/h}{3.6} = 5.56m/s \implies \frac{9m}{5.56} = 1.61s. \quad (15)$$

O manual do semáforo indica utilizar um tempo de 3s para os tempos em amarelo. O tempo em vermelho adotado para as vias é de 3s.

Considerando que a sinalização de verde em uma via significa sinal vermelho nas demais vias já que elas são concorrentes, o tempo em verde deve ser mínimo para não causar congestionamento.

A Figura 13 apresenta o fluxograma do código implementado para o calculo do tempo de verde. A demanda é calculada a cada 30s, e caso seja detectado algum pedestre a permissão de tempo de verde dos veículos é retirada, e é realizado um novo calculo para o tempo de verde, onde este é decrementado.

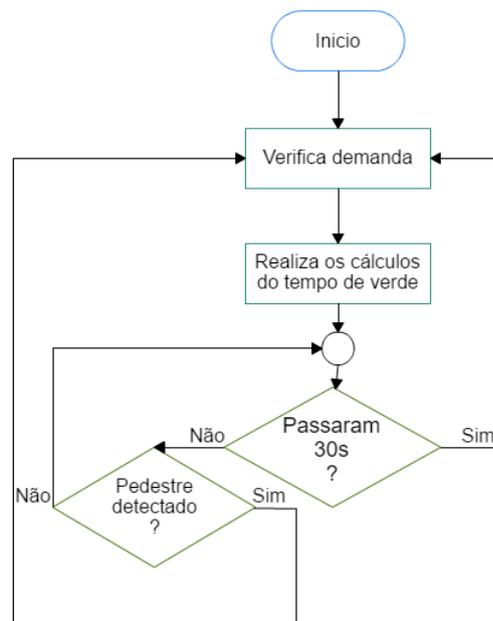


Figura 13: Fluxograma simplificado do cálculo do tempo de verde para o semáforo que apresenta o sistema de diminuição de tempo para pedestre.

Fonte: Autor.

A Figura 14 apresenta modelagem em Redes de Petri do controle do cenário apresentado na Figura 12. Os lugares representam as luzes do semáforo cada uma nomeada com o número referente ao semáforo (1, 2 ou 3). O Semáforo 1 está associado com o semáforo de pedestre de acordo com a Figura 12.

do feixe infravermelho interrompido.

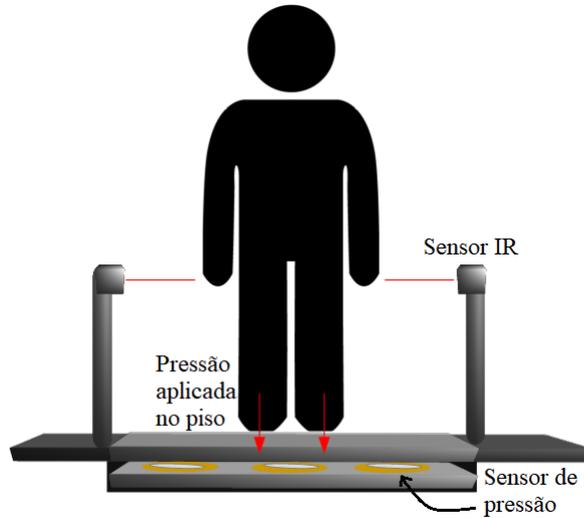


Figura 15: Ilustração do sistema de detecção de pedestre para os dois casos.

Fonte: Autor.

A Figura 16 ilustra os circuitos a serem implementados para o emissor (a) e para o receptor (b). O circuito do emissor é composto apenas por um resistor de 300Ω para promover uma queda de tensão sob o LED emissor. Já no circuito do receptor tem-se um resistor de $100k\Omega$ para promover uma queda de tensão sob o fototransistor infravermelho e para polarizar o transistor juntamente com outro resistor de $1k\Omega$. E tem-se também um LED e um transistor NPN para chavear o LED. O transistor está sempre no modo ativo.

Quando um objeto corta o feixe de luz do par de infravermelho que estão pareados, o sinal de saída é 1. E quando o feixe de luz não é interrompido o sinal de saída é 0.

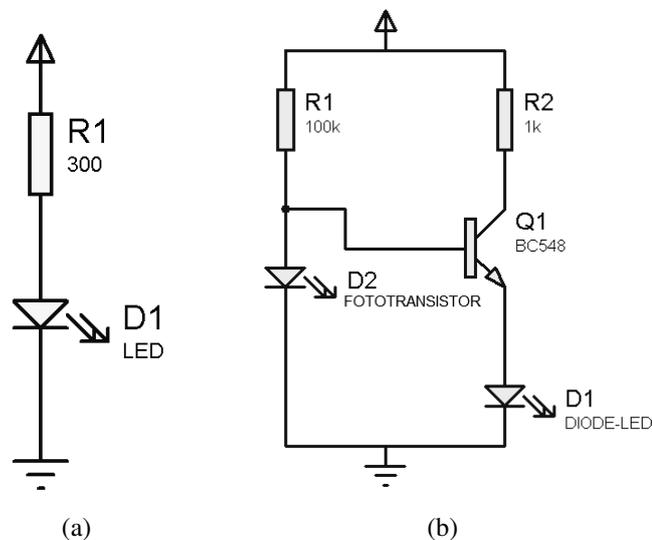


Figura 16: Circuito para o sensor infravermelho: (a) emissor e (b) receptor.

Fonte: Autor.

A Figura 17 ilustra o circuito para ativação da cápsula piezoelétrica. Esse cápsula gera uma tensão quando deformada, por isso é necessário utilizar uma resistência em paralelo com a mesma. Pode-se utilizar também um amplificador para amplificar o sinal gerado.

A cápsula piezoelétrica usada possui um *threshold* de 30, ao detectar uma deformação seu valor aumenta para 1000.

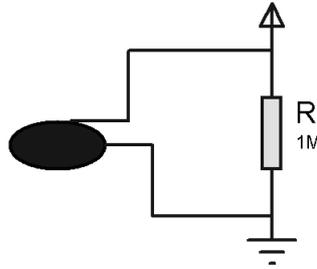


Figura 17: Circuito para o sensor piezoelétrico.

Fonte: Autor.

5 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

5.1 SIMULAÇÃO EM UMA INTERSEÇÃO COM DETECÇÃO DE PEDESTRE

Foi implementado um modelo de uma interseção no *software AnyLogic* para visualizar o impacto de um sistema de detecção de pedestres no fluxo de veículos pelas avenidas, o diagrama de blocos utilizado para realizar essa simulação encontra-se no apêndice 1.

Na Figura 18 tem-se o mapa de densidade de pedestre tentando atravessar a faixa de pedestre. Na Figura 18 (a) em que não foi adicionado nenhum controle de passagem de pedestre tem-se uma maior densidade de pessoas tumultuadas. Diferentemente a Figura 18 (b) em que foi utilizado um controle para passagem de pedestre tem-se uma concentração menor de pessoas.

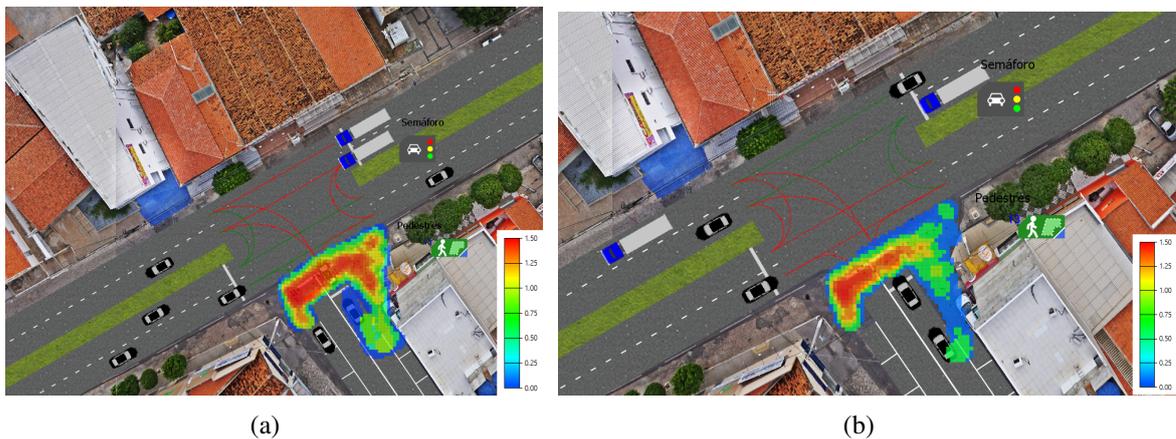


Figura 18: Simulação de interseção com densidade de pedestre que desejam atravessa a avenida: (a) Sem detecção de pedestre; (b) Com detecção de pedestre.

Fonte: Autor.

Os sistemas de detecção de pedestre são uma ótima escolha para evitar que o semáforo de pedestre fique habilitado quando não há pedestres presentes, e também para evitar que o semáforo de veículo forneça um tempo para passagem de pedestre inexistentes, como por exemplo no período da madrugada em que normalmente não há pessoas circulando.

De certo modo a utilização de sistemas de diminuição de tempo para pedestres decremента o tempo de verde dos semáforos de veículos, já que esses precisam está fechados para que os pedestre possam atravessa a avenida. Uma forma de não afetar tanto o transito de veículos é utilizando um controle semaforico baseado na densidade de veículos pressentes na via, ou em outras palavras um semáforo inteligente.

Ainda utilizando a mesma modelagem da interseção apresentada na Figura 18, comparou-se o cenário com tempo de transições das luzes do semáforo fixo e variável (Figura 19).

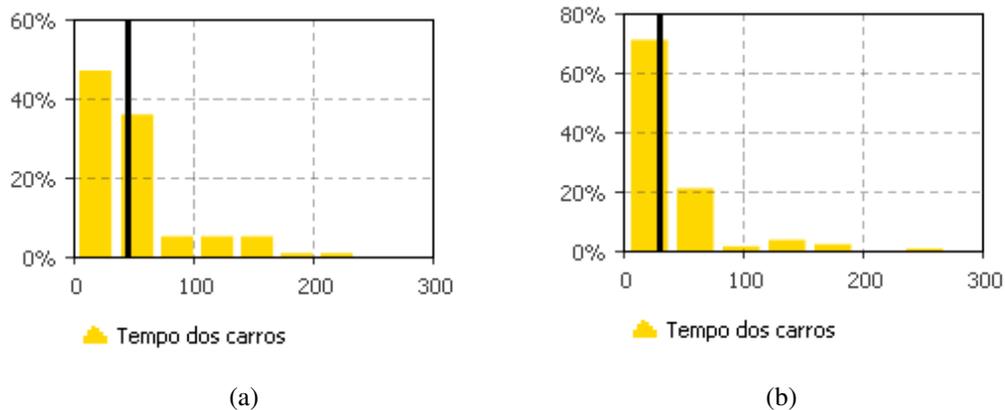


Figura 19: Tempo que os carros permanecem no cenário: Semáforo com tempo fixo; (b) Semáforo com tempo variável.

Fonte: Autor.

Na Figura 19 (a) tem-se o tempo médio em segundo para o semáforo com um tempo fixo, em que obteve-se um tempo médio de 45.08s. Já na Figura 19 (b) tem-se o tempo médio em segundo para o semáforo baseado na densidade do tráfego, em que obteve-se um tempo médio de 31.65s. Portanto o valor da média reduziu com uma diferença de 13.43s, quando utiliza-se um tempo variável. Isso evidencia a vantagem de se utilizar o sistema de detecção de pedestre com um semáforo com tempo variável baseado na densidade de veículos, permitindo uma maior fluidez no trânsito.

5.2 PROTÓTIPO

Para realizar a implementação fez-se o uso de 11 LEDs para simular as indicações luminosas dos quatro semáforos, sendo três de veículos e um de pedestre. O controlador utilizado foi um ATmega328 acoplado na plataforma educacional Arduino UNO.

Na Figura 20 tem-se o esquema do circuito implementado. Utilizou-se um *buzzer* acoplado no sensor infravermelho implementado, para quando um pedestre for detectado o sistema emiti um efeito sonoro ao qual permitirá ao pedestre certificar-se de que o sistema o detectou. A utilização desse *buzzer* proporciona também uma maior acessibilidade para as pessoas com deficiências visuais de modo que por meio do efeito sonoro elas assegurarão que o sistema as detectou.

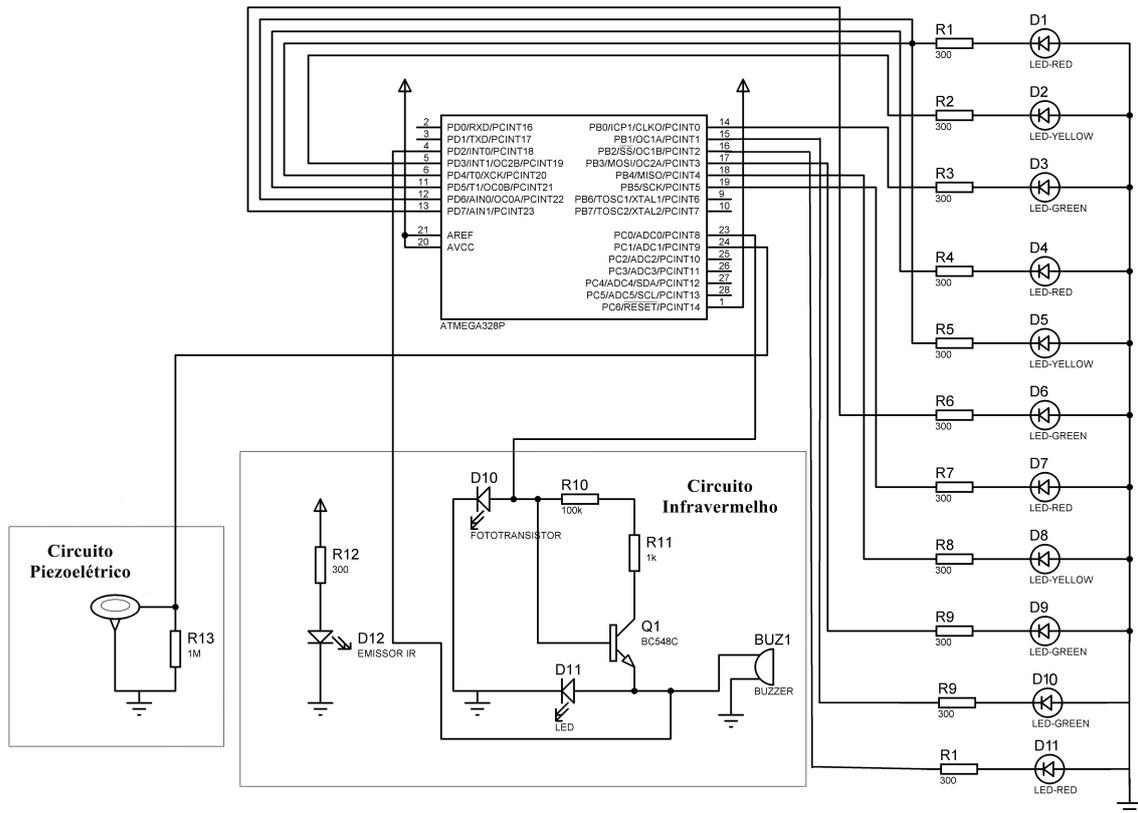
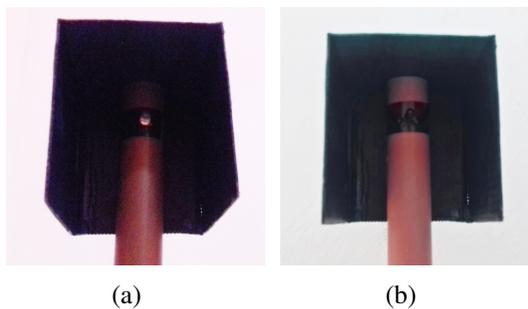


Figura 20: Circuito implementado.

Fonte: Autor.

Na Figura 21 tem-se o protótipo do emissor (a) e do receptor (b) do sensor infravermelho implementado para detecção de pedestre.



(a)

(b)

Figura 21: Sensor infravermelho: (a) Emissor; (b) Receptor.

Fonte: Autor.

Na Figura 22 tem-se o protótipo final do sistema físico, em que esse protótipo foi projetado para que o sensor infravermelho tivesse uma altura mínima de 50cm de modo a detectar crianças também. Já para o sensor piezoelétrico foi utilizado um piso flexível com dimensões de 40cm x 25cm de material PVC em que os sensores piezoelétrico foram instalados na superfície

do piso de modo a detectar qualquer deformação nele. E na Figura 23 tem-se os circuitos para infravermelho, piezoelétrico e de LEDs, do protótipo implementados nas *proto-board* para o teste.

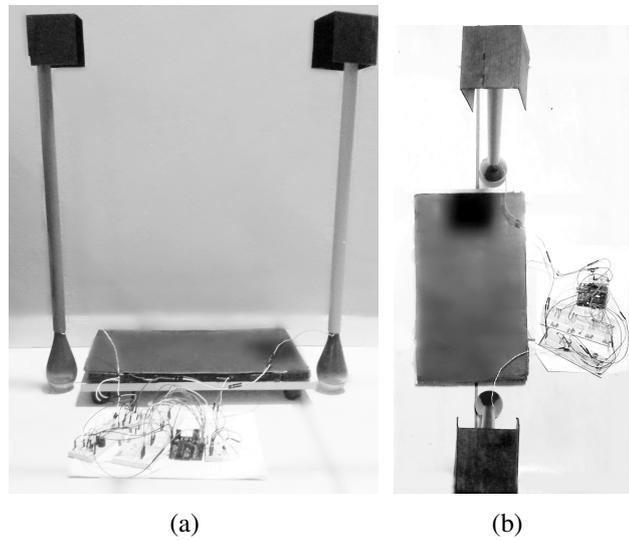


Figura 22: Protótipo final: (a) Vista frontal; (b) Vista area.
Fonte: Autor.

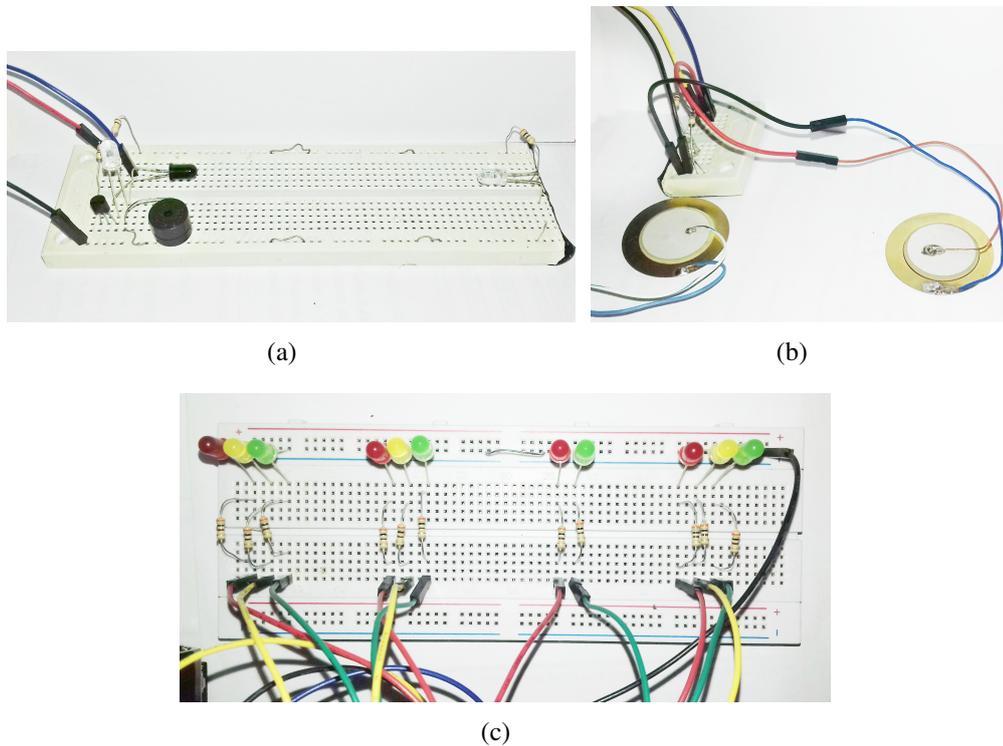


Figura 23: Circuitos: (a) Infravermelho; (b) Piezoelétrico; (c) LEDs.
Fonte: Autor.

Nas Tabelas 2 e 3 é apresentado o custo final dos materiais para implementação do *hardware* do sistema de detecção com sensor de detecção por infravermelho e com sensor de detecção com piezoelétrico respectivamente. Com isso conclui-se que a implementação do sistema de detecção com o sensor piezoelétrico tem um custo maior principalmente devido ao piso flexível.

Item	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo final (R\$)
Fototransistor Infravermelho TIL78	1	3,00	3,00
LED emissor IR TIL32	1	3,00	3,00
Resistores	3	1,00	3,00
Transistor BC548	1	1,00	1,00
<i>Buzzer</i>	1	6,00	6,00
Placa de Fenolite	2	5,00	10,00
Suporte de PVC	1	4,00 (1 m)	4,00
Fios	1	10,00 (6 m)	10,00
Encapsulamento	2	20,00 (PVC)	40,00
TOTAL	-	-	80,00

Tabela 2: Custo de material para sensor de detecção por infravermelho.

Item	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo final (R\$)
Resistores	7	0,50	3,50
Cápsula Piezoelétrica 50mm	7	1,00	7,00
<i>Buzzer</i>	1	6,00	6,00
Placa de Fenolite	7	5,00	35,00
Piso Flexível	1	45,00 (50x50cm)	45,00
Fios	1	10,00 (6 m)	10,00
TOTAL	-	-	106,50

Tabela 3: Custo de material para sensor de detecção com piezoelétrico.

5.3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Após a implementação do circuito obteve-se as formas de ondas de resposta do mesmo. Na Figura 24 tem-se as respostas dos LEDs, isto é, a comutação das fases durante um ciclo. Como pode-se observar na Figura 24 a sinalização de verde em uma via significa sinal vermelho nas demais vias, já que elas são concorrentes. Isto é, quando o semáforo 1 está com a luz verde habilitada, nos semáforos 2 e 3 as luzes vermelhas devem esta habilitadas e o tempo em verde deve ser mínimo para não causa congestionamento.

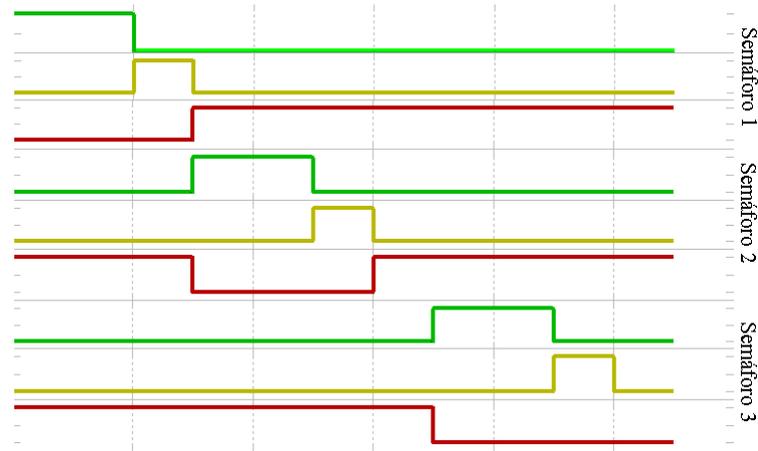


Figura 24: Comutação dos LEDs em um ciclo.

Fonte: Autor.

Na Figura 25 tem-se a resposta dos dois sensores. O sensor infravermelho possui sua saída analógica e digital, para este caso utilizou-se apenas a saída digital por ser mais precisa. Já o sensor piezoelétrico possui apenas a saída analógica. Ele possui um *threshold* de 30, quando uma pessoa é detectada seu valor se aproxima de 1000. O sensor piezoelétrico é mais preciso, pois qualquer variação no piso mesmo que seja mínima ele detecta. Já no infravermelho é necessário o posicionamento de modo a interromper o feixe infravermelho entre o par do emissor e receptor.

Como apresentado na Figura 25 os dois sensores detectam o pedestre de forma satisfatória. No entanto quando utilizado o infravermelho em ambiente exposto aos raios solares é necessário utilizar um encapsulamento para proteger o sensor dos raios solares impedindo que os raios não interfiram na resposta do sensor.

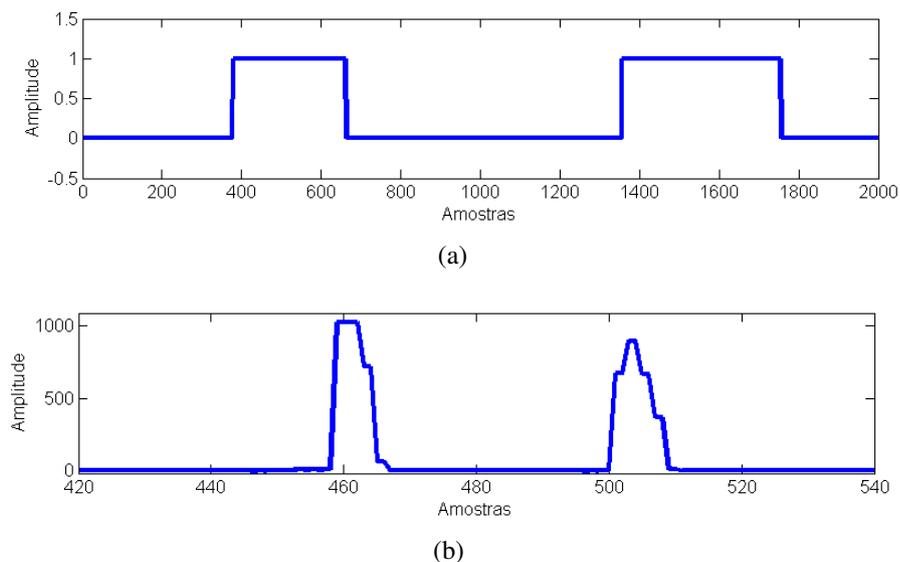


Figura 25: Resposta dos sensores: (a) Resposta de detecção do sensor infravermelho; (b) Resposta de detecção do piezoelétrico.

Fonte: Autor.

A ideia principal desse sistema de diminuição de tempo de espera do pedestre é que quando o pedestre for detectado, um sinal de interrupção é gerado para o controlador e este é programado para quando este sinal chegar a indicação luminosa verde do semáforo de veículos deve ir para *LOW* e a fase verde do pedestre ira para *HIGH* (Figura 26).

Na Figura 26 tem-se as formas de onda advindas dos LEDs, para o semáforo 1 de veículo associado ao semáforo de pedestre.

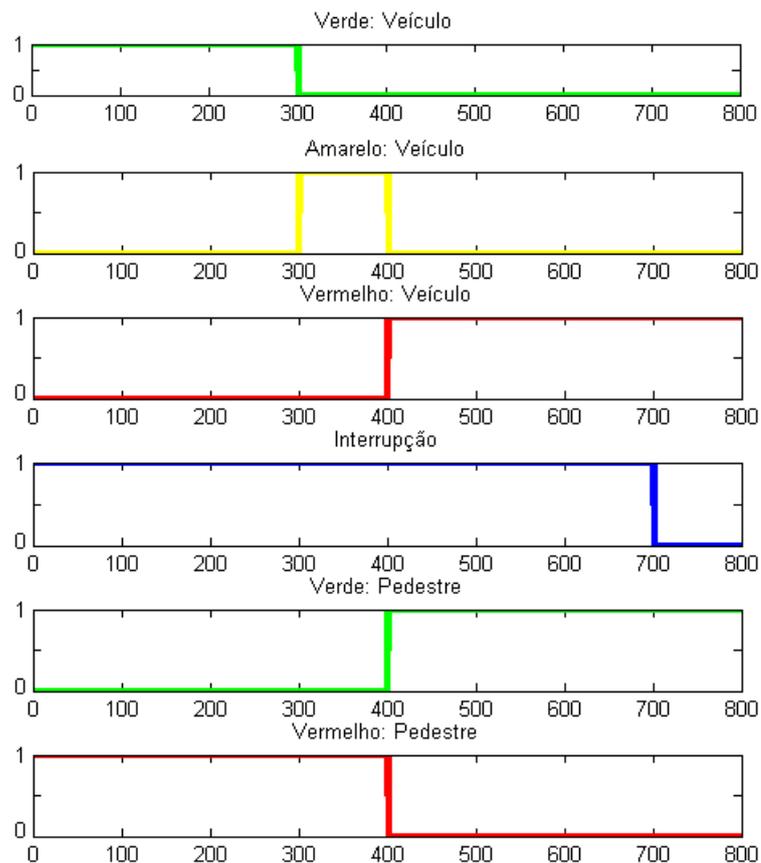


Figura 26: Comutação de fases do semáforo e sinal de interrupção.
Fonte: Autor.

O código implementado para simulação encontra-se no Apêndice 2. Para temporização fez-se o uso da função *millis* e *delay*. Para tratamento da interrupção gerada quando o pedestre é detectado foi utilizado a função *attachInterrupt*. No Arduino UNO as portas digitais que podem desempenhar a função de entrada de sinal para interrupção externa são a 2 (INT0) e 3 (INT1). Programou-se uma interrupção indicando que o pedestre foi detectado por meio do pino 2.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A vantagem da utilização do sistema de diminuição de tempo para pedestre além de diminuir o tempo de espera dos mesmo, ele também possibilita que o semáforo para pedestre só ative quando o pedestre for detectado desse modo o mesmo sera obrigado a realizar a passagem somente no lugar indicado.

Neste trabalho foi implementado o protótipo do sistema ao qual mostrou-se eficiência na detecção de pessoas. Viu-se que o sensor piezoelétrico é mais sensível se comparado com o infravermelho, pois qualquer força aplicada no piso ele detecta. Diferente do infravermelho ao qual é necessário interromper o feixe de luz infravermelha. Uma desvantagem do infravermelho é sua sensibilidade aos raios solares, para evita-los o sensor deve ser coberto por um material que evite a entrada da luz solar.

Um problema encontrado foi o atraso no envio dos dados durante a comunicação serial com o Arduíno. Para produção em escala industrial deve-se utilizar um controlador que tenha um processamento mais robusto.

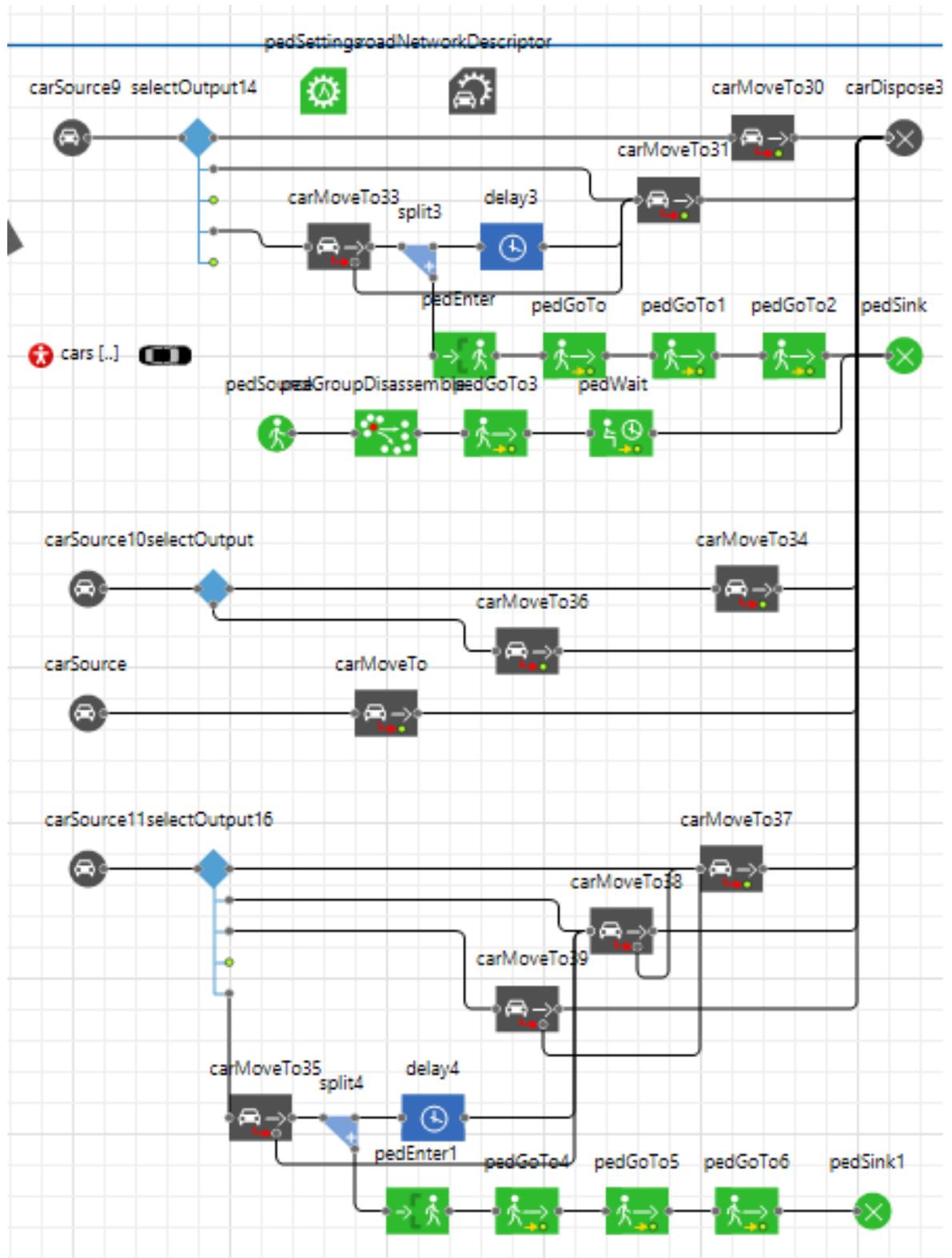
O sistema de diminuição de tempo é moderno e de baixo custo se implementado com o infravermelho, já que este necessita apenas dos suportes de 50cm para apoiar o par de sensores. Por outro lado o sistema com o sensor piezoelétrico torna-se mais caro se comparado ao sistema com o infravermelho devido a instalação de um piso suspenso que devera ser utilizado. No entanto, o sistema com o piezoelétrico detecta também os animais menores que 50cm.

Portanto, para a escolha de qual sensor utilizar deve-se considerar o local no qual este será instalado. Para trabalhos futuros propõe-se a implementação física do sistema de detecção com semáforo baseado na demanda de veículos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. C. Controlador de tráfego: semáforo inteligente. 2006.
- BARBETA, D. B. Sensor de presença a partir do processamento digital de imagens. 2010.
- BRASIL, C. d. T. B. *Código de trânsito brasileiro: instituído pela Lei nº 9.503*. [S.l.], 2008.
- DENATRAN. Coleção serviços de engenharia - manual de semáforos. v. 4, 1984.
- DENATRAN. Manual brasileiro de sinalização de trânsito volume v - sinalização semafórica. V, 2014.
- DENATRAN. *Frota de veículos*. 2016. Acesso em 3 out. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php>>.
- KLEIN, L. A.; MILLS, M. K.; GIBSON, D. R. *Traffic Detector Handbook: -Volume II*. [S.l.], 2006.
- KOONCE, P. et al. *Traffic signal timing manual*. [S.l.], 2008.
- KRAUSS, M. *Automação de sistema semafórico*. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
- MAZZAROPPI, M. Sensores de movimento e presença. *Monografia para obtenção de grau em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio, Escola Politécnica, Rio de Janeiro*, 2007.
- THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. Sensores industriais—fundamentos e aplicações. 8a edição-érica. *São Paulo, Brasil*, 2011.
- WALIKAR, S. K. Computer vision: Pedestrian detection algorithm for traffic light control system. *International Journal of Engineering and Techniques (IJET) V2(3): Page(5-9)*. ISSN: 2395-1303., Maio 2016.
- ZEGEER, C. V. *Pedestrian facilities users guide: Providing safety and mobility*. [S.l.]: diane publishing, 2002.

APÊNDICE 1 - DIAGRAMA PARA SIMULAÇÃO NO ANYLOGIC



APÊNDICE 2 - CÓDIGO

```

#define PIEZO 1 //Pino Analogico 1
#define SENSOR_CAR 2 // Pino Analogico 2
//#define LED_PIEZO 1 //Pino Digital 1
#define THRESHOLD 30 //Threshold do Piezoeletrico
#define FOTOTRANSISTOR 0 //Pino Analogico 0
#define BUZZER 2 //Pino Digital 2
/* LEDS para simular o semáforo*/
#define RED1 13 //Pino Digital 13
#define YELLOW1 12 //Pino Digital 12
#define GREEN1 11 //Pino Digital 11
#define PEDESTRIAN_GREEN1 10 //Pino Digital 10
#define PEDESTRIAN_RED1 9 //Pino Digital 9
#define RED2 7 //Pino Digital 7
#define YELLOW2 6 //Pino Digital 6
#define GREEN2 5 //Pino Digital 5
#define RED3 4 //Pino Digital 4
#define YELLOW3 3 //Pino Digital 3
#define GREEN3 8 //Pino Digital 8

int piezo_value = 0;
int value = 0;
int start = 1;
/*----- TIMERS ----- */
int GREEN2time;
int RED2time = 3000;
int YELLOW2time = 3000; //3s
/*-----VARIAVEIS DE CONTROLE----- */
int inicio = 1;
int count_v = 0; //Contador de veículos
int S_via_second = 3150; //Fluxo de Saturação veq/htv da via secundaria
int S_via_prim = 4725; //Fluxo de Saturação veq/htv da via primaria
int q = 200; //Demanda da aproximação
int y; //Taxa de ocupação
int Sum_Y = 0; //Somatorio das taxas de ocupação
unsigned long Co; //Tempo de ciclo ótimo;
unsigned long Tp = 3000;
unsigned long I = 3000; //Tempo perdido inicial
unsigned long gef = 3000; //Tempo de Verde efetivo 8s inciais;

```

```

unsigned long g = 3000;
unsigned long timer = 0;

void pedestre() {
  value = analogRead(FOTOTRANSISTOR);
  piezo_value = analogRead(PIEZO); //Sensor piezo para detectar o peso do
  pedestre
  Serial.print(value);
  Serial.println("PEDESTRE");
  if (value >= 300 || piezo_value >= THRESHOLD) {
    digitalWrite(GREEN1, LOW);
    digitalWrite(GREEN2, HIGH);
    digitalWrite(GREEN3, LOW);
    digitalWrite(PEDESTRIAN_GREEN1, HIGH);
    digitalWrite(PEDESTRIAN_RED1, LOW);
    digitalWrite(YELLOW1, LOW);
    digitalWrite(YELLOW2, LOW);
    digitalWrite(YELLOW3, LOW);
    digitalWrite(RED2, LOW);
    digitalWrite(RED3, HIGH);
    digitalWrite(RED1, HIGH);
    // Serial.println("INRERUPCAO");
    RED2time = RED2time + 200; //7s é tempo dado para o intervalo de caminhada
    para o pedestre
    //Serial.print("RED"); Serial.println(RED2time);
    YELLOW2time = YELLOW2time + 100; //É adicionado um tempo de segurança a mais
    no amarelo
    g = g - 100;
  }
}

void setup() {
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), pedestre, HIGH);
  pinMode(BUZZER, INPUT);
  pinMode(GREEN1, OUTPUT);
  pinMode(RED1, OUTPUT);
  pinMode(YELLOW1, OUTPUT);
  pinMode(GREEN2, OUTPUT);
  pinMode(RED2, OUTPUT);
  pinMode(YELLOW2, OUTPUT);
  pinMode(GREEN3, OUTPUT);
}

```

```
pinMode(RED3, OUTPUT);
pinMode(YELLOW3, OUTPUT);
pinMode(PEDESTRIAN_GREEN1, OUTPUT);
pinMode(PEDESTRIAN_RED1, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  /*Loop inicial*/
  while (start) {
    Serial.println("INICIO");
    digitalWrite(GREEN1, LOW);
    digitalWrite(GREEN2, HIGH);
    digitalWrite(GREEN3, LOW);
    digitalWrite(PEDESTRIAN_GREEN1, LOW);
    digitalWrite(PEDESTRIAN_RED1, HIGH);
    digitalWrite(YELLOW1, HIGH);
    digitalWrite(YELLOW2, HIGH);
    digitalWrite(YELLOW3, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(YELLOW1, LOW);
    digitalWrite(YELLOW2, LOW);
    digitalWrite(YELLOW3, LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(YELLOW1, HIGH);
    digitalWrite(YELLOW2, LOW);
    digitalWrite(YELLOW3, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(YELLOW1, LOW);
    digitalWrite(GREEN2, LOW);
    digitalWrite(YELLOW2, HIGH);
    digitalWrite(YELLOW3, LOW);
    digitalWrite(RED1, HIGH);
    digitalWrite(RED2, LOW);
    digitalWrite(RED3, HIGH);
    digitalWrite(PEDESTRIAN_GREEN1, HIGH);
    digitalWrite(PEDESTRIAN_RED1, LOW);
    delay(3000);
    digitalWrite(RED1, LOW);
    digitalWrite(RED2, HIGH);
    digitalWrite(RED3, LOW);
```

```

digitalWrite(PEDESTRIAN_GREEN1, LOW);
digitalWrite(PEDESTRIAN_RED1, HIGH);
digitalWrite(GREEN1, HIGH);
digitalWrite(GREEN3, LOW);
delay(1000); //10s
start = 0;
}
int sensor = analogRead(SENSOR_CAR);
value = analogRead(FOTOTRANSISTOR);
if (sensor > THRESHOLD) { //Passou um veiculo
    g = g + 3000;
    count_v = count_v + 20; //q: demanda ou quantidade de veiculos
    //q = count_v;
    Serial.println("Demanda" + count_v);
}
/*Calculo dos parametros do plano de tráfego*/
g = gef;
gef = g + YELLOW2time - I;
Serial.print("Verde Efetivo:"); Serial.println(gef);
if (gef > 9000) {
    gef = 6000;
}
I = (g + YELLOW2time) - gef;
Serial.print("Tempo Perdido I :"); Serial.println(I);
Tp = Tp + (I - YELLOW2time);
Serial.print("Tp:"); Serial.println(Tp);
y = q * S_via_second; //q édemanda
Serial.print("y:"); Serial.println(y);
Sum_Y = Sum_Y + y;
Co = (1.5 * Tp + 5) / (1 - Sum_Y);
Serial.print("Ciclo otimo :"); Serial.println(Co);
RED2time = 3000;
YELLOW2time = 3000;
if (gef * S_via_second >= q * Co || gef >= y * Co) {
    unsigned long t = millis();
    while (timer < t + 3000) { //Enquanto não tiver passado os 30s
        Serial.print("Verde: "); Serial.println(g);
        Serial.print("Vermelho: "); Serial.println(RED2time);
        Serial.print("Amarelo: "); Serial.println(YELLOW2time);
        Serial.println("Semaforo 1");
        digitalWrite(GREEN1, HIGH);
    }
}

```

```
digitalWrite(GREEN2, LOW);
digitalWrite(GREEN3, LOW);
digitalWrite(PEDESTRIAN_GREEN1, LOW);
digitalWrite(PEDESTRIAN_RED1, HIGH);
digitalWrite(YELLOW1, LOW);
digitalWrite(YELLOW2, LOW);
digitalWrite(YELLOW3, LOW);
digitalWrite(RED2, HIGH);
digitalWrite(RED3, HIGH);
digitalWrite(RED1, LOW);
delay(g);
digitalWrite(GREEN1, LOW);
digitalWrite(GREEN2, LOW);
digitalWrite(GREEN3, LOW);
digitalWrite(PEDESTRIAN_GREEN1, LOW);
digitalWrite(PEDESTRIAN_RED1, HIGH);
digitalWrite(YELLOW1, HIGH);
digitalWrite(YELLOW2, LOW);
digitalWrite(YELLOW3, LOW);
digitalWrite(RED2, HIGH);
digitalWrite(RED3, HIGH);
digitalWrite(RED1, LOW);
delay(YELLOW2time);
Serial.println("Semaforo 2");
digitalWrite(GREEN1, LOW);
digitalWrite(GREEN2, HIGH);
digitalWrite(GREEN3, LOW);
digitalWrite(PEDESTRIAN_GREEN1, HIGH);
digitalWrite(PEDESTRIAN_RED1, LOW);
digitalWrite(YELLOW1, LOW);
digitalWrite(YELLOW2, LOW);
digitalWrite(YELLOW3, LOW);
digitalWrite(RED2, LOW);
digitalWrite(RED3, HIGH);
digitalWrite(RED1, HIGH);
delay(RED2time);
digitalWrite(GREEN1, LOW);
digitalWrite(GREEN2, LOW);
digitalWrite(GREEN3, LOW);
digitalWrite(PEDESTRIAN_GREEN1, HIGH);
digitalWrite(PEDESTRIAN_RED1, LOW);
```

```
digitalWrite(YELLOW1, LOW);
digitalWrite(YELLOW2, HIGH);
digitalWrite(YELLOW3, LOW);
digitalWrite(RED2, LOW);
digitalWrite(RED3, HIGH);
digitalWrite(RED1, HIGH);
delay(YELLOW2time);
Serial.println("Semaforo 3");
digitalWrite(GREEN1, LOW);
digitalWrite(GREEN2, LOW);
digitalWrite(GREEN3, HIGH);
digitalWrite(PEDESTRIAN_GREEN1, HIGH);
digitalWrite(PEDESTRIAN_RED1, LOW);
digitalWrite(YELLOW1, LOW);
digitalWrite(YELLOW2, LOW);
digitalWrite(YELLOW3, LOW);
digitalWrite(RED2, HIGH);
digitalWrite(RED3, LOW);
digitalWrite(RED1, HIGH);
delay(RED2time);
digitalWrite(GREEN1, LOW);
digitalWrite(GREEN2, LOW);
digitalWrite(GREEN3, LOW);
digitalWrite(PEDESTRIAN_GREEN1, HIGH);
digitalWrite(PEDESTRIAN_RED1, LOW);
digitalWrite(YELLOW1, LOW);
digitalWrite(YELLOW2, LOW);
digitalWrite(YELLOW3, HIGH);
digitalWrite(RED2, HIGH);
digitalWrite(RED3, LOW);
digitalWrite(RED1, HIGH);
delay(YELLOW2time);
timer = millis();
Serial.print("Time: "); Serial.println(timer);
}
}
}
```