

PILOTO BNDES IOT  
CIDADES INTELIGENTES  
CONTRATO Nº 2.198.115

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO ECONÔMICO  
FINANCEIRA:  
PROJETO-PILOTO EM MOBILIDADE URBANA

*Apoiadora:*



*Executora:*



*Avaliadora:*



*Parcerias:*



28/11/2024 **Controle de Informação de Documentos**

<b>Identificação do documento</b>	<b>WP1372</b>
<b>Nome do documento</b>	Relatório de Análise de Viabilidade Técnica e Econômico-Financeira
<b>Nome do Projeto</b>	<b>Pilotos IoT Cidades Inteligentes:</b>  Piloto 1 - Segurança Pública Piloto 2 – Mobilidade Urbana
<b>Cliente</b>	LSI-TEC / BNDES
<b>Elaboração do documento</b>	Manoel Celso Gomes
<b>Versão do documento</b>	2

**Histórico de edições**

<b>Versão</b>	<b>Data</b>	<b>Adição/Alteração</b>	<b>Desenvolvido/Revisado por</b>
1	28/11/2024	Relatório de Avaliação de POC	Andrey Capecci Camargo
2	21/03/2025	Revisão Geral	Laisa Costa De Biase

**Histórico de Revisão/Aprovação de documento**

<b>Data</b>	<b>Nome</b>	<b>Organização/Título</b>	<b>Comentários</b>
<dd-mm-aaaa>	<Nome>	<Organização/Título>	<Comentários>

## Sumário

<b>1. Introdução</b>	<b>5</b>
1.1 Contexto do Projeto	5
<b>2. Objetivos</b>	<b>7</b>
2.1 Objetivos específicos	7
<b>3. Descrição da Solução Testada</b>	<b>8</b>
3.1 Locais de análise	9
a) Hospital Universitário	9
b) Praça dos bancos	12
c) Rebouças x Oscar Freire	15
d) Cidade Tiradentes	16
3.2 Indicadores de Performance	18
3.3 Resultados	19
<b>4. Abordagem tecnológica para a implantação das funcionalidades</b>	<b>20</b>
4.1 Arquitetura da solução	20
Câmeras	21
Módulo de detecção	22
Módulo de percepção	22
Módulo de transmissão	22
Módulo de Monitoramento e Controle Sensível ao Contexto	22
Controladora Semafórica	23
Central de comando e controle remota	23
Switch de rede	23
4.2 Configuração inicial do sistema	23
<b>4.3 Tecnologias Utilizadas</b>	<b>24</b>
Computadores de Placa Única (SBCs): Caninos Loucos Labrador 64 bits	24
Microcontroladores: Caninos Loucos Pulga	24
Comunicação LoRaWAN	25
<b>5. Funcionalidades</b>	<b>26</b>
5.1 Reinício em caso de falha	26
5.2 Heartbeats	26
5.3 Notificações de tentativas de reinício e de desistência de reinício	27
5.4 Geração de Relatório de fluxo de pedestres	27
5.5 Dashboard	28
5.6 Otimização no fluxo da via	30

<b>6. Testes funcionais</b>	<b>32</b>
6.1 Reinício da controladora em caso de falha	32
6.2 Notificações LoRaWAN	32
6.3. Otimização do fluxo da via	33
Praça dos bancos	33
Hospital Universitário	33
Cruzamento do semáforo de Cidade Tiradentes	34
Rebouças x Oscar Freire	35
6.4 Detecção de pedestres	36
6.5 Medida de fluxo de pedestres	39
6.6 Controle dinâmico dos estágios semaforicos	39
<b>7. Metodologia Deloitte: Gerenciamento do Ciclo de Vida dos KPI e Resultados</b>	<b>42</b>
7.1 Premissas, restrições e dependências	42
7.2 Determinação dos Controles e Objetivos	43
7.3 Relatório de Performance e Controle	44
Considerações:	44
Análise de viabilidade econômica	45
Análise qualitativa	45
7.4 Estruturação de modelo de negócio sustentável para difusão das soluções	45
Cenário de vendas de dispositivos	46
OPEX (Despesas operacionais anuais)	46
OPEX (Despesas operacionais anuais)	47
Resumo financeiro:	47
7.5 Conclusão	47
7.6 Sugestões e Recomendações	47
7.7 Identificação de oportunidades e barreiras para replicação da solução	48
7.8 Contribuição para padrões e certificações técnicas de soluções de IoT	48
<b>8. Referências</b>	<b>49</b>

## 1. Introdução

Este relatório apresenta a análise de viabilidade técnico econômico-financeira do piloto BNDES IoT em Mobilidade Urbana, que implantou um Sistema de Controle Semafórico Adaptativo Sensível ao Contexto para Cidades Inteligentes. Este piloto foi desenvolvido pela LSI-TEC em parceria com a SMT-SP / CET, Greenwave, Stellantis, SMART MODULAR, American Tower e Deloitte. Sendo a Deloitte, responsável pela análise de viabilidade técnico econômico-financeira da implementação da solução de IoT.

O documento possui dois volumes, sendo o primeiro relativo ao Piloto 1, com foco na Segurança Pública, e o segundo abordando o Piloto 2, que trata da solução de Mobilidade Urbana.

### 1.1 Contexto do Projeto

Atualmente cerca de quatro bilhões de pessoas vivem em cidades no mundo, mas há projeções de que até 2050 este número atinja sete bilhões. Neste contexto, os serviços disponíveis nas cidades precisam ser substancialmente melhorados, permitindo um crescimento sustentável. Esforços para aplicação de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas, aliada à Inteligência Artificial e Big Data Analytics, são a base das Cidades Inteligentes.

A cidade de São Paulo, sendo uma das maiores cidades em termos de densidade demográfica na América Latina, possui necessidades de aperfeiçoamento de controles e processos que refletem no bem-estar do cidadão à luz do conceito de Smart Cities. A temática do aperfeiçoamento da mobilidade urbana sustentável com foco nos modos ativos e coletivos de transporte é, sem dúvida, uma prioridade para o município pois tem grande potencial de contribuir com o bem-estar do cidadão, seja por um aumento da segurança viária e da acessibilidade no ambiente urbano, seja pela melhoria da qualidade e eficiência da oferta de opções de transporte. Existem estimativas de que atualmente o Brasil perde R\$156,2 bilhões com a morosidade do trânsito na cidade de São Paulo. Além das perdas econômicas, o trânsito na cidade de São Paulo tem impactos na saúde da população, tendo em vista que 12% das internações por causas respiratórias em São Paulo são atribuídas aos poluentes, que também

responderam por 4.000 mortes prematuras por ano[1], além da redução de 1,5 anos de vida, com um custo financeiro que, dependendo da métrica utilizada, pode variar entre centenas de milhões a mais de um bilhão de dólares [2].

A segurança é outro aspecto importante, em 2019, o Estado de São Paulo teve cerca de 114,2 mil acidentes de trânsito com vítimas em vias urbanas. Em média 9 pessoas por dia são vítimas de atropelamento na capital, segundo dados da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) [3]. Acidentes com pedestres respondem por 35% das fatalidades, ficando atrás somente dos motociclistas (45%) [4]. Sendo que os idosos são as maiores vítimas fatais com pedestres, ressaltando a importância da melhoria da infraestrutura do ambiente urbano para os pedestres com acessibilidade universal.

A cidade de São Paulo possui um alto índice de acidentes envolvendo pedestres, as estatísticas abaixo ajudam a ter uma melhor perspectiva do problema [5]:

- Dos atropelamentos ocorridos nos cruzamentos, que representaram mais de 1/4 do total, 79% ocorreram em cruzamentos semaforizados.
- A maioria (80%) dos atropelamentos fatais investigados que ocorreram em cruzamentos aconteceu na faixa de pedestres, em um cruzamento semaforizado.
- Porém, dos pedestres atropelados em cruzamentos semaforizados, 67% atravessaram a faixa de pedestre no estágio vermelho e 28% atravessaram a faixa no estágio verde, considerado seguro.

Um tempo de espera alto ou inadequado para aquela via fazendo com que o pedestre cruze no vermelho, bem como falha de funcionamento (semáforo em amarelo piscante) podem ser apontados como grandes motivadores de ocorrência.

Vários estudos acadêmicos vêm apontando novas tecnologias e metodologias disponíveis no mundo para modernizar o controle do trânsito e tem avaliado os benefícios delas para melhorar a qualidade da mobilidade urbana em São Paulo. O Plano Diretor Estratégico [6] também apontou ações para o sistema viário que contemplam a priorização do transporte coletivo, do fluxo de pedestres e ampliação gradual de dispositivos para beneficiar de maneira universal a acessibilidade no ambiente urbano, sobretudo para as pessoas com redução de mobilidade, garantindo a todos autonomia e segurança (Lei 16.050 de 2014).

## 2. Objetivos

O projeto de Mobilidade Urbana tem como objetivo o desenvolvimento de solução de Internet das Coisas (IoT) para linha de semaforização inteligente com enfoque em tecnologias e metodologias de gerenciamento de fluxos de transporte que priorizem a segurança de pedestres e a qualidade de vida da população.

### 2.1 Objetivos específicos

Estudar, propor e avaliar métodos de aplicação de IoT em elementos de infraestrutura urbana que visem a otimização do uso das vias para a priorização dos modos ativos;

- Estudar, propor e avaliar métodos e técnicas de análise de nível de serviço na aproximação de travessias, considerando a quantidade de pedestres, a velocidade dos fluxos de pedestres e a ocupação das faixas de pedestres e da calçada nos diferentes momentos do ciclo de travessia;
- Implantar e avaliar piloto em ambiente controlado;
- Disseminar amplamente os resultados do projeto.

### 3. Descrição da Solução Testada

O projeto iniciou-se no final de 2021 com foco em dominar os conceitos usados em semáforos, como as determinações de tempo máximo de espera de pedestres e veículos, vermelho de reset, verdes conflitantes etc. e tecnologias usadas em semáforos, como o UTMC. Além disso, focamos nos desafios inerentes aos projetos instalados em locais públicos, como exposição à chuva, variações climáticas, altas temperaturas, vandalismo etc.

Posteriormente, foi desenvolvida uma primeira camada de inteligência nos semáforos, permitindo identificar estados de falha, notificar uma central de monitoramento e tentar restabelecer a operação automaticamente. Esta etapa foi realizada com o objetivo de aumentar a disponibilidade semafórica e reduzir gastos operacionais pela necessidade de intervenção das equipes de suporte técnico, fazendo com que essas equipes se desloquem aos semáforos somente quando houver alguma falha de hardware ou elétrica. Posteriormente, foram desenvolvidas as camadas de inteligência de reconhecimento de imagem e programação dinâmica que foram implementadas e validadas.

Os dados necessários ao estudo foram obtidos por simulações e por coleta de dados do teste piloto. O simulador oferece a possibilidade de levantamento de indicadores para a análise das técnicas propostas em ambientes diversos e complexos. Os experimentos em campo validam os resultados da simulação e validam a viabilidade técnica e econômica do sistema. As simulações foram realizadas com o software de simulação de tráfego local (VISSIM/VISWALK).

Foi desenvolvido um controlador virtual que se conecta ao micromodelo do simulador através da interface COM do VISSIM, permitindo o controle do semáforo de acordo com o contexto.

Para os testes em campo, foi utilizado um protótipo que utiliza visão computacional por câmeras que observam os fluxos de pedestres. Foi utilizada uma controladora semafórica padrão fabricada pela Greenwave modelo GW4BR.



## 3.1 Locais de análise

A pesquisa está sendo realizada em quatro locais, utilizando câmeras, semáforos e microssimuladores de tráfego. As simulações serão configuradas com 3 tipos diferentes de programação semafórica: uma programação de tempo fixo, uma programação que usa o sistema PTV EPICS, e uma com um algoritmo próprio. São quatro micromodelos disponíveis para simulações: HU, Praça dos Bancos, Terminal Rodoviário Cidade Tiradentes e cruzamento Rebouças x Oscar Freire. Destes, apenas dois dos locais correspondentes já receberam a infraestrutura de controladores semafóricos apoiados por câmeras.

TABELA 1. MÉTODO DE ANÁLISE DE CADA REGIÃO.

	<i>Hospital Universitário</i>	<i>Rebouças x Oscar Freire</i>	<i>Praça dos Bancos</i>	<i>Cidade Tiradentes</i>
<i>Simulação com algoritmos customizados</i>	✓	✓	✓	✓
<i>Experimental</i>	✓		✓	

Fonte: Produção própria.

### a) Hospital Universitário

Este local possui uma faixa de pedestres atravessando uma via de mão dupla em frente ao Hospital Universitário da Cidade Universitária “Armando Salles de Oliveira” (HU - CUASO), na Av. Prof. Lineu Prestes, 2565 - Butantã, São Paulo. Possui fluxo heterogêneo de pedestres, com velocidades de caminhada variadas. A Figura 1 mostra a vista aérea do cruzamento e arredores.

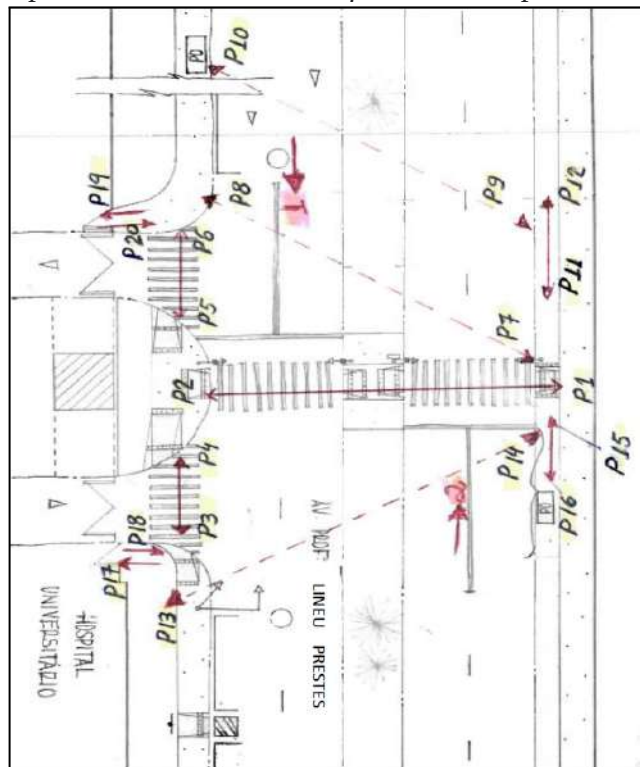
A figura 2 mostra a planta baixa do local estudado, com os movimentos em destaque. Os movimentos 1 e 2 dizem respeito aos fluxos de veículos. Os movimentos P1 e P2 são os movimentos de travessia dos pedestres sobre a faixa estudada. Os movimentos P7, P8, P9, P10, P13 e P14 são travessias ilegais realizadas pelos pedestres. Os demais não são considerados nesta pesquisa.

Figura 1: vista aérea do cruzamento



Fonte: Google Maps

Figura 2: planta baixa da área em frente ao Hospital Universitário



Fonte: CET

A figura 3 mostra a faixa de pedestres a partir da saída do Hospital Universitário, permitindo ver o canteiro central com os semáforos de pedestres e o ponto de ônibus do outro lado da travessia.

*Figura 3: faixa de pedestres visualizada a partir da saída do HU*



*Fonte: Google Street View*

A figura 4 mostra a faixa vista pelo outro lado, próximo ao ponto de ônibus CECAP. Nela é possível ver o canteiro central, os semáforos para pedestres e a entrada do Hospital Universitário.

*Figura 4: faixa de pedestres visualizada ao lado do ponto de ônibus CECAP*



*Fonte: Google Street View*

## b) Praça dos bancos

O segundo local é um cruzamento com uma faixa de pedestres atravessando uma via de mão dupla em frente à Praça dos Bancos na CUASO, na Av. Prof. Luciano Gualberto, 660 - Butantã, São Paulo - SP. Foi escolhido porque é um lugar relativamente com alta movimentação no campus. A figura 5 mostra a vista aérea do cruzamento, com as faixas de pedestres, o canteiro central entre as duas, a área de retorno próxima a elas, e os pontos de ônibus no local.

*Figura 5: vista aérea do cruzamento*

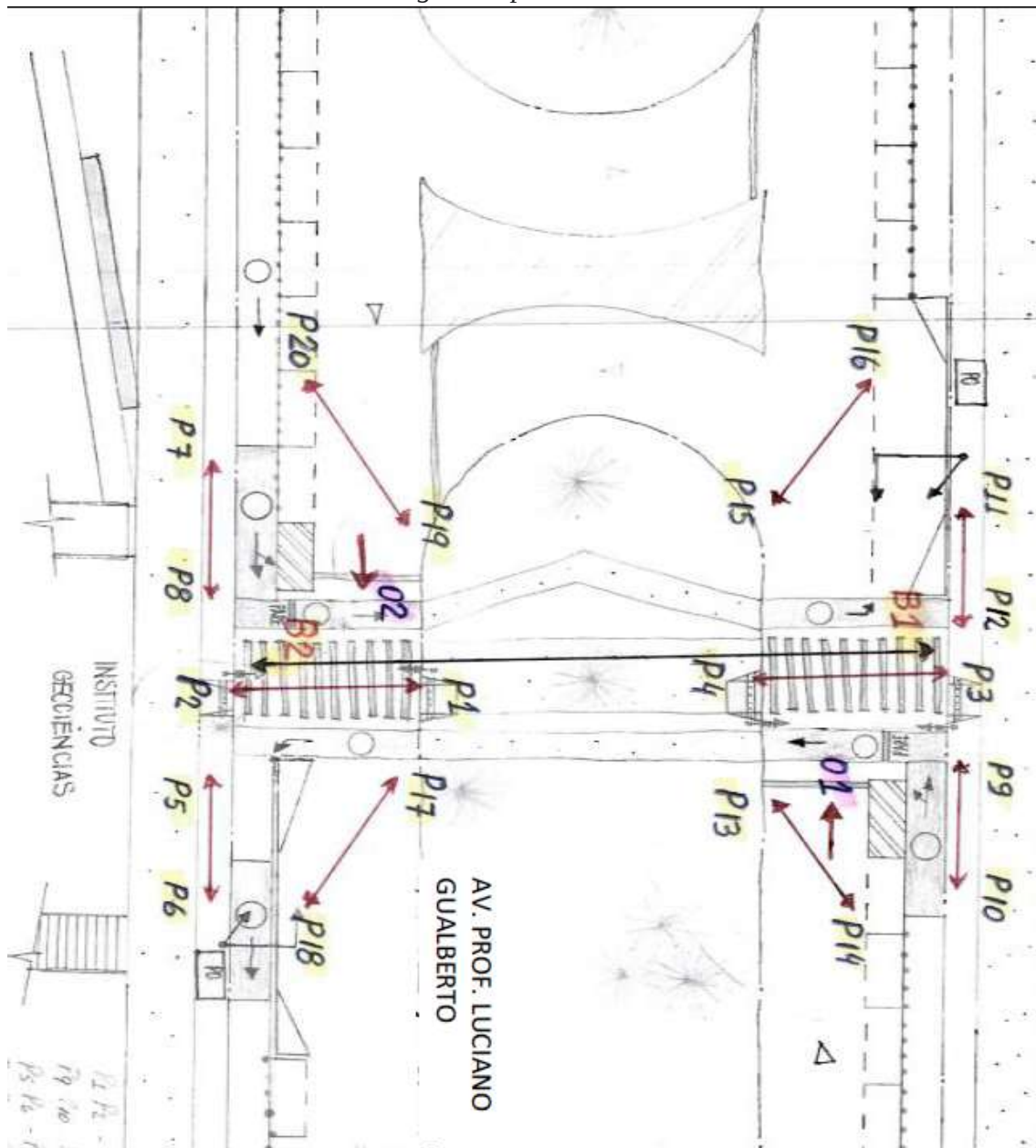


*Fonte: Google Maps*

A figura 6 mostra a planta baixa do local, com os movimentos em destaque. Os movimentos 1 e 2 dizem respeito aos fluxos de veículos. Os movimentos P1, P2, P3 e P4 são os movimentos de

travessia dos pedestres sobre a faixa estudada. Os movimentos P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19 e P20 são travessias ilegais realizadas pelos pedestres. Os demais não são considerados nesta pesquisa.

Figura 6: planta baixa



Fonte: CET

A figura 7 mostra a visualização da faixa de pedestres a partir da saída da Praça dos Bancos, permitindo ver o canteiro central com os semáforos de pedestres e as ciclofaixas que o acompanham.



*Figura 7: faixa de pedestres visualizada a partir da saída dos bancos*



*Fonte: Google Street View*

A figura 8 mostra a visualização da faixa de pedestres a partir de um ponto próximo ao ponto de ônibus FAU II, permitindo, mais uma vez, ver o canteiro central com os semáforos de pedestres e as ciclofaixas que o acompanham.

*Figura 8: faixa de pedestres visualizada próxima ao ponto de ônibus FAU II*

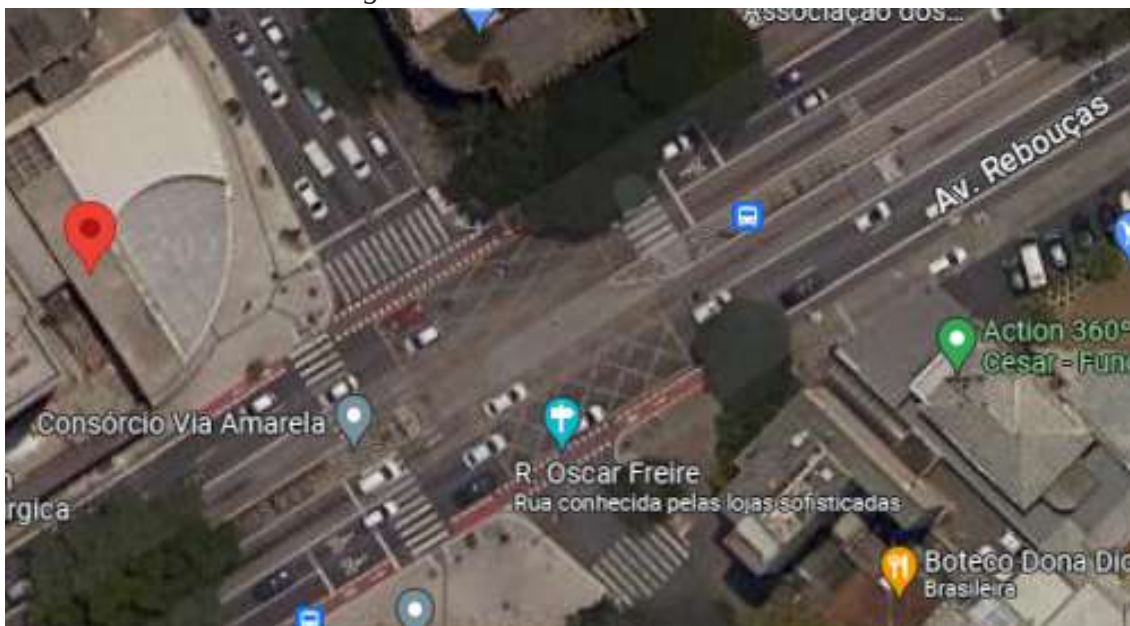


*Fonte: Google Street View*

## c) Rebouças x Oscar Freire

O terceiro local é um cruzamento dentro da cidade de São Paulo, que se forma entre a Avenida Rebouças e a Rua Oscar Freire. Foi escolhido devido aos grandes fluxos de veículos e pedestres, havendo acessos à estação Oscar Freire da linha Amarela do Metrô de São Paulo e uma parada de ônibus no canteiro central. A Avenida Rebouças possui mão dupla, sendo 3 vias para cada, separadas pelo canteiro central. Os ônibus possuem exclusividade de direito a circulação em uma faixa de cada lado. Endereço: Av. Rebouças, 1064 - Pinheiros, São Paulo - SP. A figura 9 mostra a vista aérea do cruzamento, com as cinco faixas de pedestres e o ponto de ônibus no canteiro central. A figura 10 mostra a visualização do local a partir de uma das saídas da estação de metrô Oscar Freire, permitindo ver duas das faixas de pedestres estudadas, o ponto de espera de ônibus no canteiro central, e os semáforos para pedestres no canteiro. A figura 11 mostra a faixa isolada que dá ao ponto de ônibus do outro lado do cruzamento.

*Figura 9: vista aérea do cruzamento*



*Fonte: Google Maps*



Figura 10: Faixas de pedestres em frente às saídas da estação de metrô Oscar Freire



Fonte: Google Street View

Figura 11: foto do cruzamento a partir do outro acesso à estação de metrô



Fonte: Google Street View

## d) Cidade Tiradentes

Por último, temos a área de confluência entre a Rua dos Têxteis, a Av. dos Metalúrgicos, e a Av. Naylor de Oliveira próxima ao Terminal Rodoviário Cidade Tiradentes, localizado em Conj. Hab. Castro Alves, São Paulo - SP. Escolhido por ser uma área de periferia com geometria diferente



daquela observada no cruzamento Rebouças x Oscar Freire. Na figura 12, pode-se observar o local estudado, com as três vias, o terminal rodoviário e, no lado oposto a este, um supermercado.

Figura 12: vista aérea do cruzamento



Fonte: Google Maps

Figura 13: Foto das faixas de pedestre



Fonte: Google Street View

Na Figura 13 é possível ver duas faixas de pedestres que se encontram próximas ao encontro da Avenida Naylor de Oliveira com a Avenida dos Metalúrgicos, no sentido de quem sai da estação rodoviária. Não se observa a presença de semáforos acompanhando estas faixas.

Na figura 14 observa-se a travessia para o supermercado logo após as faixas de pedestres na saída da Av. Naylor de Oliveira mostradas na figura anterior. Não há faixas de pedestres levando a elas, embora existam semáforos que interrompem os fluxos de veículos e uma área no canteiro central que permite o fluxo de pedestres.

*Figura 14: Foto da travessia para o supermercado*



*Fonte: Google Street View*

## 3.2 Indicadores de Performance

Os indicadores de performance escolhidos para avaliar os algoritmos desenvolvidos para o controle de foram:

- **Número médio de pedestres retidos na área de retenção:** número máximo de pedestres que esperaram a cada vermelho para pedestres. Soma dos máximos dividida pelo número de ciclos no período de análise.

- **Tempo de espera médio para travessia dos pedestres e desvio padrão:** tempo de espera de cada um dos pedestres que esperaram no vermelho para pedestres. Soma dos tempos obtidos dividida pelo número de pedestres no período de análise.
- **Tempo de espera máximo de algum pedestre na área de retenção:** o maior tempo de espera de um pedestre que esperou no vermelho para pedestres no período de análise.
- **Comprimento médio e desvio padrão da fila de veículos:** (número máximo de veículos) que aguardou no sinal de veículos em um dado ciclo no período de análise. Ocorrido durante o processo de travessia de pedestres.
- **Tempo médio de espera dos veículos retidos no sinal vermelho e desvio padrão:** tempo de espera de cada um dos veículos que esperaram no vermelho para veículos. Soma dos tempos obtidos dividida pelo número de veículos no período de análise.
- **Tempo máximo de espera de um veículo retido no sinal vermelho:** o maior tempo de espera de um veículo que esperou no vermelho para veículos no período de análise.

Esses indicadores foram selecionados para demonstrar o efeito dos algoritmos de controle semafórico desenvolvidos sobre o tráfego de forma geral nos locais, mostrando não só o efeito sobre os pedestres como também o efeito sobre os veículos.

### 3.3 Resultados

O projeto desenvolveu os seguintes resultados que serão detalhados a seguir:

- 1) Método de redução de conflitos dos modos ativos em travessias semaforizadas;
- 2) Técnicas de monitoramento de pedestres;
- 3) Modelo da solução proposta em simulador e sua avaliação em quatro locais;
- 4) Protótipo funcional;
- 5) Piloto em campo;
- 6) Avaliação da solução proposta.

## 4. Abordagem tecnológica para a implantação das funcionalidades

O sistema de controle inteligente em tempo real faz uso de visão computacional e algoritmos para análise de contexto da via para manipular os tempos de estágio semafórico de modo a priorizar a segurança dos pedestres. Atuando sobre o software original das controladoras, o sistema pode ser adicionado às controladoras com suporte ao protocolo [UTMC](#), exigido na especificação técnica da CET para controladoras de tempo real (revisão de 2016).<sup>[7]</sup>

O sensor de fluxo, por sua vez, busca coletar dados de fluxo para auxiliar no planejamento de políticas públicas, além de avaliar a performance dos algoritmos de controle por meio da geração automatizada de relatórios acerca do fluxo de pedestres para cada via.

Os dados coletados são enviados por *LoRa WAN* e podem ser visualizados por meio de um *dashboard*. A comunicação também pode ser feita por 5G, com custo adicional do pacote de dados 5G<sup>1</sup> por unidade com média de R\$ 250,00 mensal, tendendo a diminuir à medida que a tecnologia de 5G se torna mais abrangente, garantindo redundância na transmissão.

A solução atual tem as seguintes restrições:

- cobertura da rede de comunicação para o envio de dados de monitoramento;
- influência de condições climáticas favoráveis para a detecção de pedestres pela rede neural (as detecções são prejudicadas por chuva, falta de luminosidade e neblina).

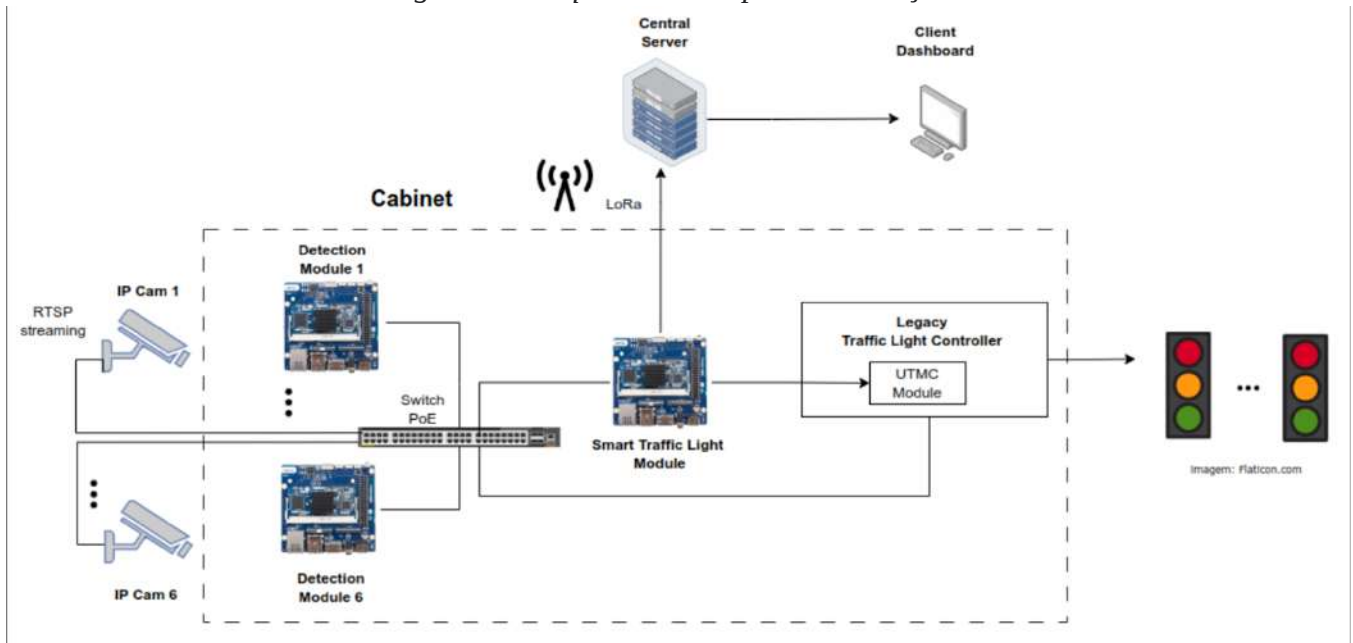
### 4.1 Arquitetura da solução

A solução foi desenvolvida levando-se em consideração aspectos como escalabilidade e modularização. Os diversos módulos são conectados por uma intranet seguindo padrão bem definido de endereçamento IP fixo. A figura 15 apresentada abaixo apresenta a arquitetura completa do sistema:

---

<sup>1</sup> [Planos de 5G no Brasil: Valor liberado pelas operadoras](#)

Figura 15: Arquitetura completa da solução



Fonte: LSI-TEC

## Câmeras

São utilizadas câmeras IP para identificação do contexto e controle adaptativo do semáforo. Para os testes em laboratório e para testes em campo no Hospital Universitário e na Praça do Relógio no Campus do Butantã, foram utilizadas câmeras do modelo Hikvision DS-2CD2025FWD-I e Hikvision DS-2CD2021G1-I.

Para posteriores instalações os requisitos mínimos são:

- Suporte a compressão H.264
- Suporte a streaming RTSP
- Proteção IP66 ou superior
- Conector RJ45 (com suporte à alimentação PoE)
- Funcionalidade de Visão Noturna

É importante ressaltar que, a depender das opções de resolução e qualidade de imagem, o delay para detecção de objetos pela solução final será impactado.



## **Módulo de detecção**

Dispositivo de processamento dos frames capturados das câmeras para visão computacional. Este módulo identifica a posição de pedestres e de veículos. Estes módulos foram implementados com processamento na borda, em plataformas Caninos Loucos Labrador 64bits.

## **Módulo de percepção**

Responsável por: (1) mapear as áreas de interesse; e (2) agregar e processar as informações dos módulos de detecção.

## **Módulo de transmissão**

Responsável por enviar as notificações de sistema e relatórios, neste caso pela rede de comunicação LoRaWAN.

## **Módulo de Monitoramento e Controle Sensível ao Contexto**

Este módulo é responsável por realizar o monitoramento e o controle do semáforo. A interação com a controladora semafórica é feita pelo protocolo UTMC por meio do qual enviam-se comandos para abertura e fechamento do semáforo de acordo com contexto, isto é, de acordo com a presença e localização de pedestres e veículos.

- Monitoramento da controladora semafórica.
- Detecção de estado de erro: amarelo intermitente ou apagamento de luzes dos grupos focais.
- Reinicialização automática da controladora em estado de erro para recuperar o seu estado normal de operação. Na tentativa de reinício são enviadas notificações encaminhadas ao Módulo de Transmissão para inclusão em seus relatórios e alertas.
- Detecção de operação normal da controladora semafórica.
- Gerar relatórios sobre o fluxo de pedestres e veículos para o planejamento de tráfego.
- Gerar notificações sobre o funcionamento do semáforo.

## Controladora Semafórica

Controladora semafórica padrão. Nos testes de laboratório e em campo foram utilizadas as controladoras Greenwave GW4BR.

## Central de comando e controle remota

Recebe, armazena e apresenta as notificações e relatórios do sistema.

## Switch de rede

Interconexão de todas as placas de processamento e câmeras do sistema por intranet.

## 4.2 Configuração inicial do sistema

O sistema deve ser configurado com a marcação do tipo de região em que o pedestre se encontra. Esse mapeamento da via não somente possibilita a geração do relatório de fluxo de pedestres por região da via como também permite a ativação da troca de estágio semafórico na presença de pedestres em áreas específicas. A figura 16 representa a divisão da área mapeada do Hospital Universitário.

Figura 16: mapeamento da via do HU



Fonte: LSI-TEC

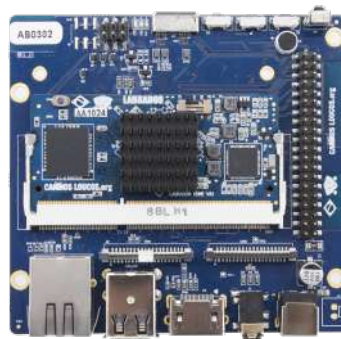
## 4.3 Tecnologias Utilizadas

Para o desenvolvimento da solução foram utilizados os hardwares embarcados desenvolvidos pelo programa Caninos Loucos. O programa é responsável por especificar, projetar, fabricar e comercializar uma família de Single Board Computers (SBCs) e microcontroladores, fornecendo plataformas tecnológicas de software e hardware abertas totalmente desenvolvidas no Brasil voltadas para aplicações de IoT.

### Computadores de Placa Única (SBCs): Caninos Loucos Labrador 64 bits

As placas Labradores são responsáveis por realizar o controle semafórico e todo o processamento de dados localmente, incluindo a execução da rede neural para detecção de objetos.

*Figura 18: Placa Labrador de 64 bits*



*Fonte: Caninos Loucos*

### Microcontroladores: Caninos Loucos Pulga

Microcontroladores responsáveis por receber notificações via serial e realizar sua retransmissão por LoRaWAN.



Figura 19: Pulga core V2

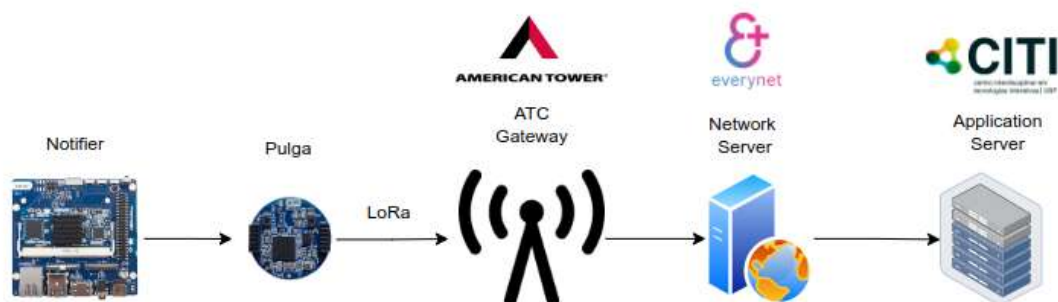


Fonte: Caninos Loucos

## Comunicação LoRaWAN

A comunicação entre os módulos da infraestrutura semafórica com a *Central de comando e controle* é realizada por uma rede de telecomunicações de longa distância. Foram realizados testes com a rede LoRaWAN da ATC e com a rede 5G da Claro. O fluxo da informação é do sistema semafórico para o gateway da rede de comunicações. Os gateways concentram os fluxos de comunicação em um servidor da gestora da rede (Servidor de Rede) que realiza então a conexão com o Servidor de Aplicação, que no nosso caso consiste na *Central de Monitoramento e Controle*.

Figura 20: diagrama de transmissão por LoRa



Fonte: LSI-TEC

## 5. Funcionalidades

### 5.1 Reinício em caso de falha

O sistema realiza o monitoramento contínuo e detecção de estado de erro do semáforo acusado pelo amarelo intermitente ou desligamento de um ou mais grupos focais do semáforo. Quando detectada uma destas duas situações, o CSC, em uma tentativa de recuperar o correto funcionamento do controlador, irá reiniciá-lo automaticamente, evitando que uma equipe técnica tenha que se locomover até o local para realizar a manutenção do semáforo.

Para esta funcionalidade foram tomados certos cuidados com duas situações específicas:

1. Alguns planos preveem que grupos focais fiquem em estado de amarelo intermitente ou apagados em determinados horários.
2. Certos dias no calendário do semáforo, por exemplo, dias em que há manutenções, o semáforo também pode ser programado para ficar em amarelo intermitente ou apagado.

Ambas as situações não são advindas de erros internos do semáforo, mas sim de situações previstas e desejáveis. Portanto, o sistema verifica o banco de dados local da controladora conferindo os dias e horários em que estes planos especiais estarão em vigor. Durante estes períodos a funcionalidade de reinício automático será temporariamente desativada.

Caso seja detectado um estado de erro, antes de realizar uma tentativa de reinício automático, é encaminhada uma notificação indicando uma tentativa de reinício pela entrada em estado de amarelo piscante não planejado, ou pela entrada em estado de luzes apagadas. O sistema realiza a contagem de tentativas de reinício e caso cheguem a um limite, é enviada a sinalização indicando que o semáforo está fora de operação e não é mais realizada a tentativa de reinício.

### 5.2 Heartbeats

O sistema monitora continuamente a operação da controladora semafórica e envia notificações periódicas, denominadas Heartbeats, via LoRa. Estas notificações sinalizam que o semáforo está

operando normalmente. Na prática, pressupondo-se o correto funcionamento da infraestrutura de comunicação, um longo intervalo de tempo sem recebimento destas notificações é um forte indício de que o semáforo cessou sua operação. Espera-se que o recebimento ou não recebimento de “Heartbeats” possa agilizar o processo de manutenção e monitoramento dos semáforos.

### **5.3 Notificações de tentativas de reinício e de desistência de reinício**

Conforme descrito anteriormente, caso seja detectado um estado de erro o sistema envia uma notificação da detecção de estado de amarelo piscante não programado ou de luzes apagadas e tenta corrigir a operação pelo reinício do sistema. Caso o reinício não seja capaz de restabelecer o funcionamento do semáforo, o sistema tenta novamente. Não resolvendo o problema após uma certa quantidade de reinícios (ou seja, o sistema continua entrando em estado de amarelo piscante não programado ou luzes apagadas), o sistema envia uma sinalização indicando que o semáforo está fora de operação e não são mais realizadas tentativas de reinício.

### **5.4 Geração de Relatório de fluxo de pedestres**

O relatório de fluxo de pedestres, atualmente, faz o envio de uma série de informações que permitem comparar a performance de diferentes algoritmos, sendo eles:

- Número máximo de pedestres retidos na área de retenção quando o semáforo estava vermelho para pedestres.
- Número médio de pedestres por frame retidos na área de retenção quando o semáforo estava vermelho para pedestres.
- Número médio de pedestres por frame que realizaram a travessia na faixa de pedestres ou dentro de sua área de influência quando o semáforo estava aberto para pedestres.
- Número médio de pedestres por frame que realizaram a travessia na faixa de pedestres ou dentro de sua área de influência quando o semáforo estava fechado para pedestres.

- Número máximo de pedestres que realizaram a travessia na faixa de pedestres ou dentro de sua área de influência.
- Número médio de pedestres por frame que realizaram a travessia fora da faixa de pedestres e de sua área de influência quando o semáforo estava aberto para pedestres.
- Número médio de pedestres por frame que realizaram a travessia fora da faixa de pedestres e de sua área de influência quando o semáforo estava fechado para pedestres.
- Número médio de pedestres por frame na calçada e fora da área de retenção
- Tempo médio de espera dos pedestres posicionados na área de retenção com semáforo verde para pedestres.
- Tempo médio de espera dos pedestres posicionados na área de retenção com semáforo vermelho para pedestres.
- Tempo de espera máximo de algum pedestre na área de retenção (o maior tempo de espera de um pedestre que esperou no vermelho para pedestres no período de análise).

## 5.5 Dashboard

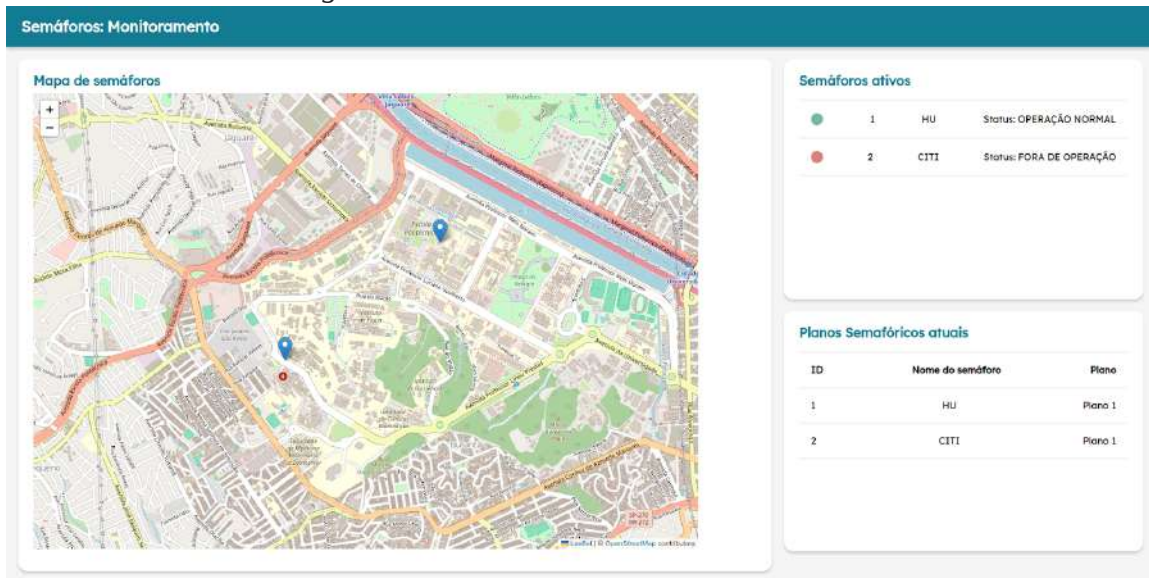
Foi desenvolvido um sistema web como protótipo para a visualização da localização e estado de operação dos semáforos, seus planos e informações acerca do fluxo de pedestres por horário.

Na tela inicial apresentada na figura 21 é possível conferir informações a respeito dos cruzamentos em que o sistema foi instalado, como, por exemplo, seu estado de funcionamento baseado no recebimento dos *heartbeats*, o plano semafórico vigente e sua localização em um mapa interativo.

No dashboard ainda é possível conferir detalhes dos planos de cada semáforo, incluindo os seus estágios e tempos previstos, como é possível ver na figura 22.

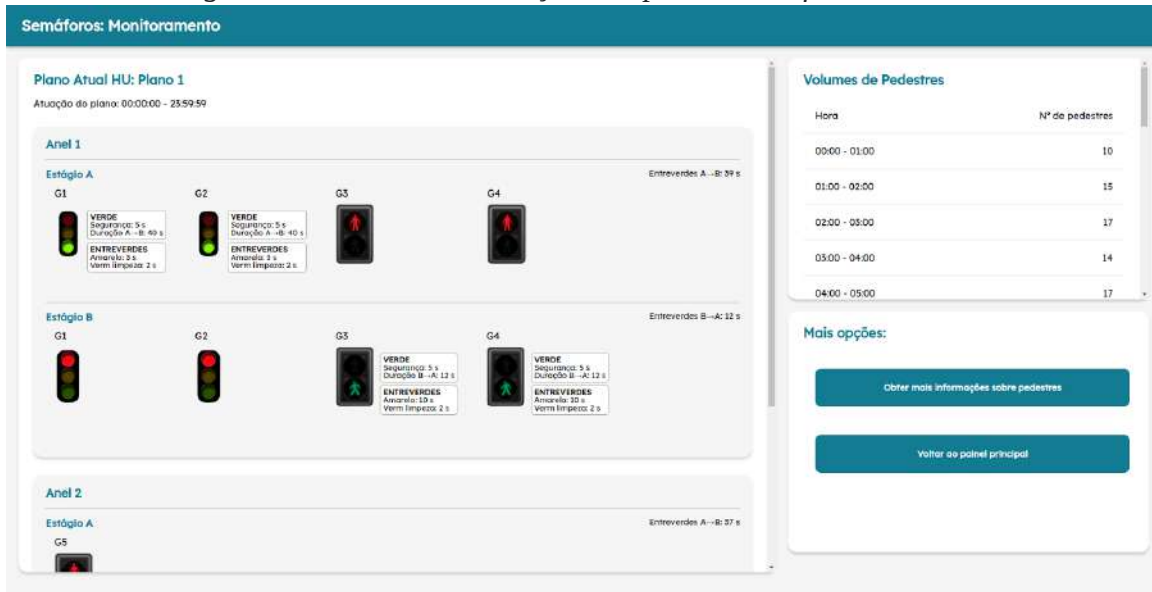
A Figura 23, por sua vez, apresenta a tela em que é possível conferir as informações recebidas por LoRa dos relatório de fluxo de pedestres para cada cruzamento monitorado, sendo possível filtrá-las por horário e também visualizá-las na forma de gráficos.

Figura 21: Tela inicial do dashboard



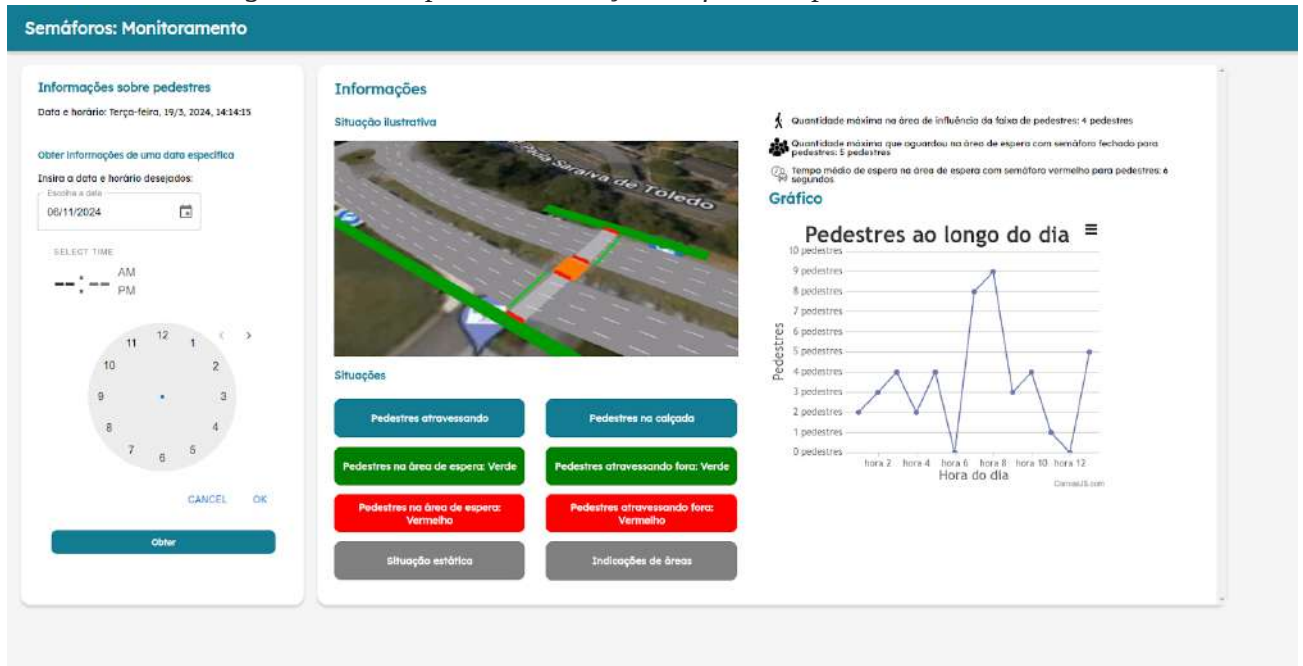
Fonte: LSI-TEC

Figura 22: Tela de visualização dos planos semafóricos



Fonte: LSI-TEC

Figura 23: Tela para visualização do fluxo de pedestres



Fonte: LSI-TEC

## 5.6 Otimização no fluxo da via

O algoritmo implementado para controle semafórico dinâmico utiliza os tempos fixos de estágio tabelados de cada via como base para o cálculo e realiza a extensão ou redução deles. O tempo mínimo define o tempo que o semáforo deve permanecer no estágio atual independentemente do contexto da via. O tempo mínimo de estágio é ponderado pela acurácia do modelo de detecção  $p$  e por um fator  $a$  que determina a porção que se deseja manter do tempo tabelado. Uma vez ultrapassado esse tempo mínimo a abertura ou fechamento do semáforo para veículos e pedestres passa a depender da presença de pedestres na área de espera.

$$t_{min} = a \cdot t_{tabelado} + (1 - a) \cdot t_{tabelado} \cdot (1 - p)$$

O tempo estendido, por sua vez, define o tempo máximo que o semáforo pode se manter em um mesmo estágio e é calculado pela seguinte fórmula:

$$t_{\text{estendido}} = t_{\text{tabelado}} \cdot (1 + p)$$

O controle dinâmico sensível ao contexto segue as etapas descritas a seguir:

1. Ao ser iniciado o sistema realiza a leitura do banco de dados da controladora contendo a programação com os planos e tempos de estágio tabelados para cada horário. Estes tempos são utilizados como base para o cálculo de novos tempos de estágio dinâmicos.
2. Envia-se um comando UTMC para o Módulo de Controle Semafórico e inicia-se a troca do modo de operação para que cada estágio seja definido por comando externo (no caso, pelo módulo de Monitoramento e Controle).
3. Uma vez transacionado o modo de operação, os tempos de estágio passam a depender do contexto da via. Os algoritmos de controle semafóricos implementados na forma de máquinas de estado recebem o número de pedestres nas áreas de espera e na faixa de pedestres e de acordo com sua lógica interna envia comandos UTMC para a troca ou renovação do estágio atual.

## 6. Testes funcionais

### 6.1 Reinício da controladora em caso de falha

Primeiramente essa funcionalidade foi testada em ambiente controlado dentro de laboratório iniciando-se o estado de amarelo piscante por dois mecanismos:

1. Por software, utilizando-se o aplicativo Programador Semafórico da fabricante da controladora semafórica, impôs-se um estado de amarelo intermitente a um dos anéis.
2. Por hardware, utilizando-se de uma chave na giga de teste que força o estado de amarelo intermitente

Para ambos os modos de entrada no estado de amarelo intermitente, a funcionalidade se comportou como o esperado: após entrar no estado de amarelo intermitente, o sistema desliga toda a eletrônica da controladora, incluindo o sistema proposto. Depois a controladora e o sistema são religados e a operação normal é retomada.

O teste de erro persistente também foi bem-sucedido. Forçando-se o estado de amarelo intermitente após o reinício, o sistema tentou novo reinício por 3 vezes, limite definido previamente, cessando após a terceira tentativa.

Após a validação em laboratório, o sistema foi colocado em campo e verificou-se seu correto funcionamento em uma oportunidade real, na qual houve um problema de alimentação elétrica devido à infiltração de chuva. Nesta oportunidade o sistema realizou três tentativas de reinício e enviou as notificações planejadas.

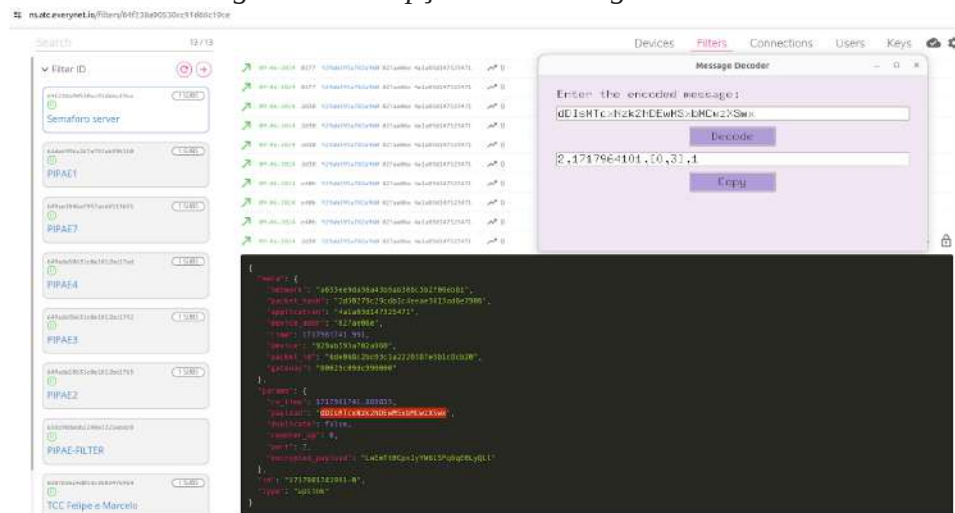
### 6.2 Notificações LoRaWAN

O envio de mensagens LoRaWAN foi extensamente testado. Realizamos em campo envio de mensagens com antena dipolo e antena planar e em diferentes condições climáticas. Esse último fator ainda se mostra preponderante para o sucesso no recebimento das mensagens LoRaWAN.

Verificou-se o formato correto do recebimento e o respeito ao intervalo de tempo definido para cada notificação.



Figura 24: recepção das mensagens



Fonte: LSI-TEC

### 6.3. Otimização do fluxo da via

#### Praça dos bancos

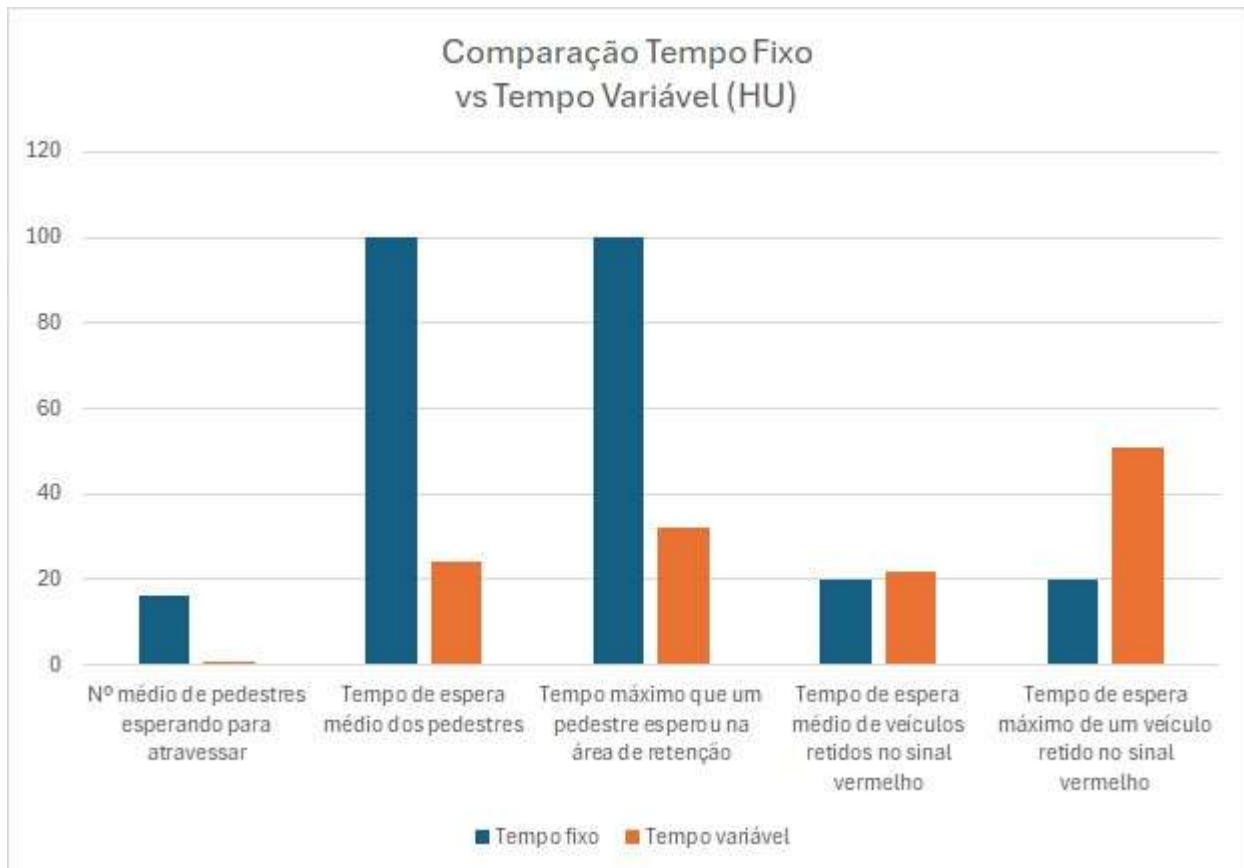
Para a configuração da praça dos bancos, o sistema apresentou melhoras significativas em todos os indicadores analisados. O tempo de espera médio de pedestres diminuiu em 60,56%, passando de 95s para 37,47s. Já o tempo de espera máximo de um pedestre esperando para atravessar diminuiu em 60,84%, passando de 95 segundos para 37,20 segundos. O tempo de espera médio de veículos retidos no sinal vermelho diminuiu em 40,29%, passando de 45 segundos para 26,87 segundos; já o tempo de espera máximo de um veículo retido no sinal vermelho diminuiu em 20,89%, passando de 45 segundos para 35,60 segundos.

#### Hospital Universitário

Para o cenário construído com base nas vias próximas ao Hospital Universitário (HU), os indicadores relacionados a pedestres, isto é, o número médio de pedestres esperando para atravessar e seus tempos de espera médio e máximo na área de retenção reduziram notavelmente. Observando os

indicadores para veículos notou-se que, apesar de seu tempo de espera máximo no sinal vermelho ter aumentado, seu tempo médio de espera pouco aumentou frente à significativa melhora no fluxo de pedestres.

Gráfico 1: Comparação de resultados para o cenário do HU



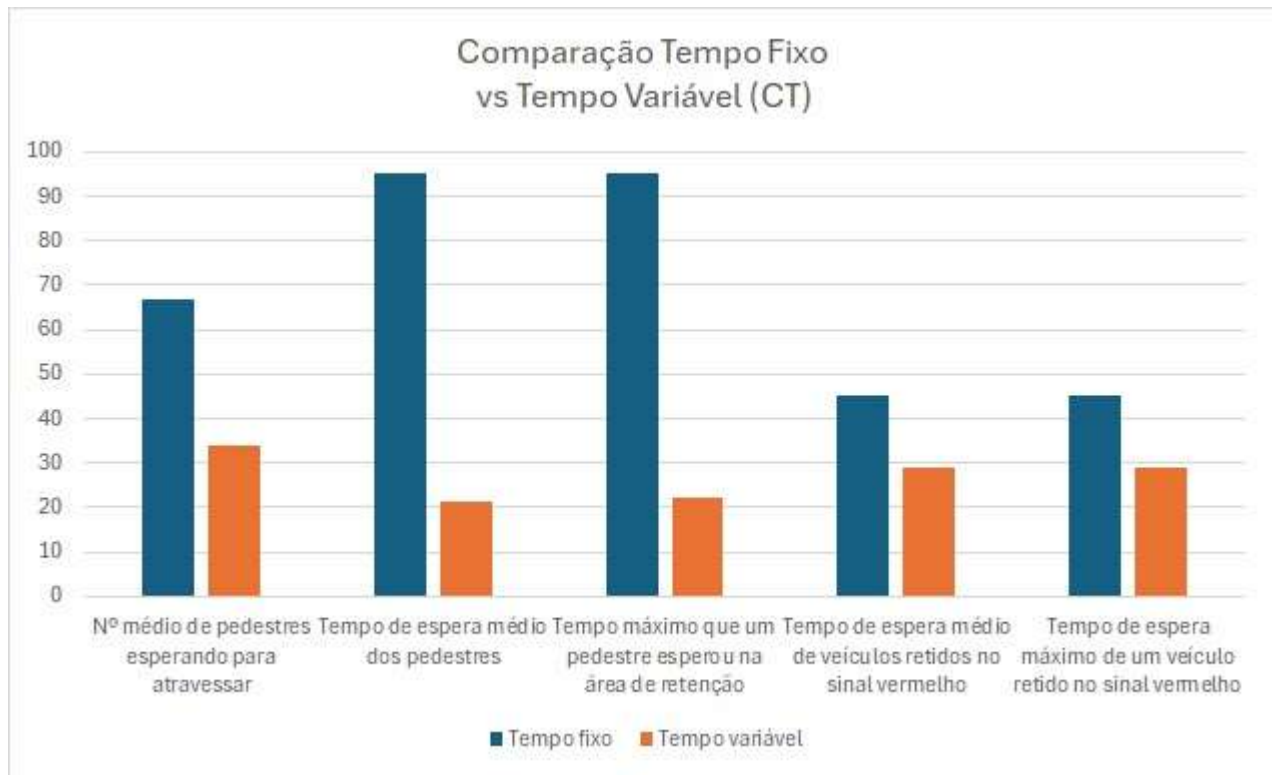
Fonte: LSI-TEC

## Cruzamento do semáforo de Cidade Tiradentes

Os resultados da simulação para o semáforo do cruzamento da Cidade Tiradentes também se mostraram promissores. O gráfico 2 mostra os resultados obtidos na simulação. Para os algoritmos de tempo variável houve brusca redução tanto no tempo médio e máximo de espera dos pedestres na área de retenção como também no número médio de pedestres esperando para atravessar. Os tempos de

espera de veículos retidos no sinal vermelho, por sua vez, apesar de em menor proporção, também apresentaram significativa melhora.

Gráfico 2: Comparação de resultados para o cenário do Terminal Cidade Tiradentes



Fonte: LSI-TEC

## Rebouças x Oscar Freire

Para o caso do cruzamento da Rebouças com a Oscar Freire, que possui alto fluxo de veículos, o sistema apresentou uma melhora significativa para este fluxo, mantendo os indicadores para pedestres aproximadamente iguais. Os atrasos médios para veículos caíram 71,06% (passando de 400,10s para 115,78s) e a velocidade média dos veículos aumentou 151,69%. O tempo de viagem total passou de 3.695.853s para 2.609.052 segundos, caindo 29,4%. Já para os pedestres, a média de tempo de espera para travessias de vias teve um aumento de 25%, mas ainda muito abaixo do limite de 90s de (12s para 15s parados). O tempo médio de viagem para os pedestres aumentou apenas 6,53% (de 47,2s para 50,3s).

## 6.4 Detecção de pedestres

Os testes em laboratório foram divididos em dois conjuntos com o intuito de:

1. Avaliar métricas dos modelos treinados da rede neural para detecção de pedestres, sendo elas:

- a. Precisão: mede a taxa de acerto da rede ao detectar um pedestre, isto é, de todos os pedestres detectados quantos são realmente pedestres:

$$Precision = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Positives}$$

- b. Recall (sensibilidade): mede a proporção de pedestres detectados com relação a quantidade real de pedestres presente no dataset, sendo calculado pela seguinte fórmula:

$$Recall = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Negatives}$$

- c. F1-Score: métrica de avaliação que relaciona precisão e recall, buscando uma avaliação geral do modelo, sendo dado por:

$$F1\ Score = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

2. Validar o envio das detecções para o módulo de percepção por TCP no formato correto.

Primeiramente realizou-se a avaliação da performance de detecção da rede para o período do dia. Para isso utilizou-se um *test set* composto de 600 frames obtidos de gravações de duas das seis câmeras instaladas junto aos semáforos do Hospital Universitário. A tabela 2 apresenta os resultados obtidos para diferentes resoluções de entrada da rede e diferentes thresholds de confiança, mantendo-se sempre o threshold de intersecção sobre união em 0.15 (15%).

*Tabela 2. Performance de detecção do sistema para o dia*

<b>Resolução (px)</b>	<b>Threshold de confiança</b>	<b>Verdadeiros Positivos</b>	<b>Falsos Positivos</b>	<b>Falsos Negativos</b>	<b>Precisão</b>	<b>Recall (Sensibilidade)</b>
[416]	0.5	881	30	252	96.71%	77.76%
[416]	0.25	951	66	182	93.51%	83.94%
[416]	0.1	993	257	140	79.44%	87.64%
[320]	0.5	796	19	337	97.67%	70.26%
[320]	0.25	885	54	248	94.25%	78.11%
[320]	0.1	956	186	177	83.71%	84.38%
[256]	0.5	674	19	459	97.26%	59.49%
[256]	0.25	800	102	333	88.69%	70.61%
[256]	0.1	897	385	236	69.97%	79.17%
[128]	0.5	160	2	973	98.77%	14.12%
[128]	0.25	279	20	854	93.31%	24.62%
[128]	0.1	424	118	709	78.23%	37.42%

*Fonte: LSI-TEC.*

Para o período da noite utilizou-se um *test set* adicional de mais 258 frames obtidos das mesmas câmeras. A tabela 3 apresenta os resultados do teste:

*Tabela 3. Performance de detecção do sistema à noite.*

<b>Resolução (px)</b>	<b>Threshold de confiança</b>	<b>Verdadeiros Positivos</b>	<b>Falsos Positivos</b>	<b>Falsos Negativos</b>	<b>Precisão</b>	<b>Recall (Sensibilidade)</b>
[416]	0.5	353	3	123	99.16%	74.16%
[416]	0.25	383	11	93	97.21%	80.46%
[416]	0.1	409	62	67	86.84%	85.92%

*Fonte: LSI-TEC.*

Especificamente para o *test set* noturno houveram testes adicionais com uso de técnicas de pré-processamento de imagem para evitar que o contraste excessivo gerado pelo brilho dos grupos focais deteriorasse a performance da rede. Os resultado dos testes está apresentado na tabela 4 abaixo:

*Tabela 4. Performance de detecção do sistema para noite com pré-processamento*

<b>Resolução (px)</b>	<b>Threshold de confiança</b>	<b>Verdadeiros Positivos</b>	<b>Falsos Positivos</b>	<b>Falsos Negativos</b>	<b>Precisão</b>	<b>Recall (Sensibilidade)</b>
[416]	0.5	371	7	105	98.15%	77.94%
[416]	0.25	402	27	74	93.71%	84.45%
[416]	0.1	428	101	48	80.91%	89.92%

*Fonte: LSI-TEC.*

Observou-se pelos testes diurnos que mesmo para resoluções baixas como 128x128 pixels e um threshold de confiança de apenas 0.1 a rede conseguiu manter sua precisão sempre acima ou próxima dos 70%. Para thresholds de confiança de 0.25 e 0.5 a rede, de modo geral, atingiu valores superiores a 90%. Os resultados de sensibilidade por sua vez também se mantiveram acima dos 70% para resoluções acima de 256x256 pixels e para os três thresholds testados, salvo exceção do teste de 256x256 pixels com threshold de 0.5 de confiança que ficou próximo aos 60%.

Para os testes noturnos realizados notou-se apenas uma pequena queda nos resultados de sensibilidade com relação aos testes de frames capturados durante o dia, contudo com a adição de técnicas de pré-processamento de imagem foi possível aumentar a sensibilidade da rede a custo diminuto de precisão.

Os resultados, principalmente para resoluções mais altas e valores baixos ou intermediários de confiança, se mostraram satisfatórios, ainda que haja possibilidade de melhorias.

Vale ressaltar que o *training set* utilizado para o treinamento inicial da rede não continha imagens coletadas diretamente de cruzamentos semaforicos, com iluminação, resolução e angulação semelhantes. Em paralelo com o desenvolvimento do projeto, foram sendo coletadas gravações dos campos de testes e que serão incluídas em novos treinamentos nos próximos meses a fim de melhorar a performance da rede.

## 6.5 Medida de fluxo de pedestres

Essa funcionalidade foi testada utilizando-se um software próprio que simula a detecção de pedestres por região da via. Esse software permite configurar previamente a quantidade de pedestres para cada região mapeada, tal como o intervalo de tempo entre as detecções, sendo, dessa maneira, possível forçar uma quantidade mínima, máxima e média de pedestres detectados ao longo de cada teste. Conferindo-se os dados informados nos relatórios de fluxo de pedestres observou-se que os números médios e máximos de detecção de pedestres tal como os tempos de espera seguiam as quantidades e intervalos pré-configurados no software, validando o relatório.

## 6.6 Controle dinâmico dos estágios semafóricos

Foram realizados três testes em laboratório, com o objetivo de validar o controle do semáforo por envio de comandos UTMC, possibilitando a troca de estágios em tempo real.

No primeiro teste, utilizou-se um algoritmo que mantém aberto o fluxo de veículos e quando há detecção de pessoas na área de espera, realiza o fechamento para veículos e abertura para pedestres; a troca de estágio para o fechamento do semáforo para pedestre e a volta de abertura do semáforo para veículos é realizada depois de um intervalo de tempo fixo (definido como 15s neste teste). O sistema foi inicializado e após a controladora entrar no estágio de liberação do fluxo de veículos uma pessoa entrou na área demarcada como área de espera. O sistema realizou a alteração do estágio, o que foi constatado tanto pelos registros de sistema (logs) como também pelo resultado visual, já que os grupos focais que entraram no estágio de entreverdes e depois no estágio B (aberto para pedestres). Por fim, a pessoa saiu da área definida como área de espera e após os 15 segundos estipulados pelo algoritmo, o semáforo entrou em entreverdes e retornou para o estágio anterior.

Já o segundo teste teve o intuito de verificar o algoritmo de controle proposto. A Tabela 5 apresenta os tempos tabelados, máximos e mínimos dos estágios A e B considerando os valores de acurácia de 0.5 e alpha de 0.6 que foram adotados para o teste. Na Tabela 6, são apresentados os tempos obtidos nos testes em laboratório considerando três cenários. Os valores obtidos e registrados na Tabela

6 foram obtidos pelos logs do sistema e representam a média de duração dos estágios para um período de testes de 1h.

No cenário A, consideramos a ausência de pedestres durante o ciclo semafórico completo, o que deveria fazer com que o estágio A (aberto para veículos) fosse estendido para o seu valor máximo, enquanto o estágio B (aberto para pedestres) ficasse vigente na sua duração mínima (valores apresentados na tabela 5). Analisando a tabela 6, verificamos que os tempos obtidos estão de acordo com o previsto.

No cenário B, consideramos a presença constante de pedestres durante o ciclo semafórico completo, o que deveria fazer com que o estágio A (aberto para veículos) fosse vigente pelo período mínimo permitido pela programação; enquanto o estágio B (aberto para pedestres) ficasse vigente na sua duração máxima (valores apresentados na tabela 5). Analisando a tabela 6, verificamos que os tempos obtidos estão de acordo com o previsto.

No cenário C, consideramos a entrada de um pedestre depois de 42s na área de espera, já após o tempo mínimo do estágio A (32s) (aberto para veículos). Neste caso, o esperado seria que houvesse a troca imediata de estágio, iniciando o período de entreverdes. Analisando a tabela 6, verificamos que de fato ocorreu esta troca de estágios, com um atraso de cerca de 1s. Neste teste, para a notificação da presença de pedestres, foi utilizado um *script* para simular a notificação de pedestres pelo Módulo de Detecção.

*Tabela 5. Tempo dos estágios do semáforo nos testes realizados, determinando os tempos de estágio mínimo e máximo que serão adotados de acordo com o contexto, utilizando-se a fórmula proposta.*

	Estágio A Calculado			Estágio B Calculado		
	tabelado	mínimo	estendido	tabelado	mínimo	estendido
tempo (s)	40	32	60	12	9.6	18

*Fonte: LSI-TEC.*



*Tabela 6. Tempo dos estágios A e B do semáforo obtidos nos testes realizados.*

<b>Cenário</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tempo calculado de estágio A</b>	<b>Tempo obtido estágio A</b>	<b>Tempo calculado de estágio B</b>	<b>Tempo obtido de estágio B</b>
A	ausência de pedestres durante o ciclo semaforico completo	60	60	9.6	10
B	presença constante de pedestres durante o ciclo semaforico completo	32	33	18	18
C	presença de pedestres pedestre após tempo mínimo de estágio A (32s)	42	43	9.6	9.6

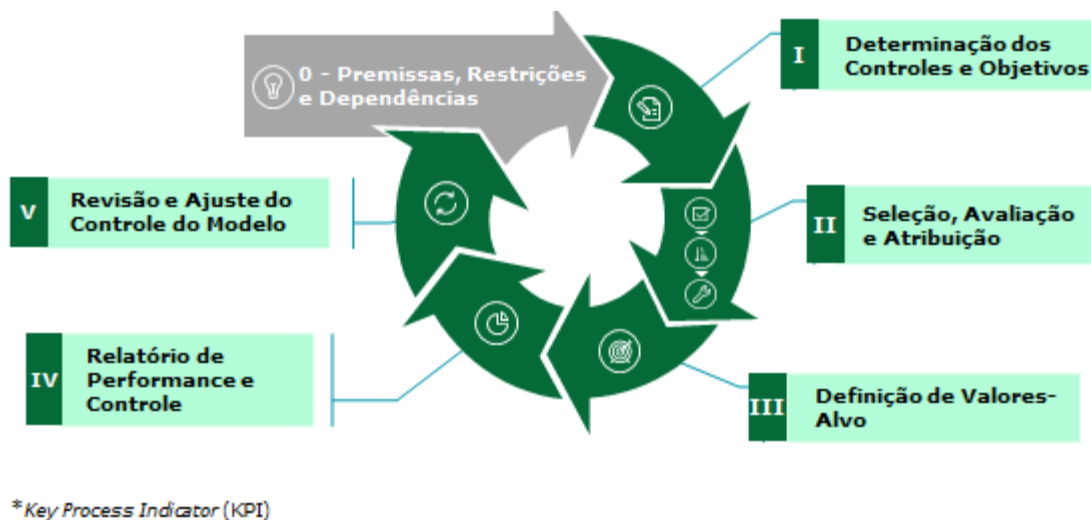
*Fonte: LSI-TEC.*

O último teste teve como objetivo testar o sistema por longos períodos. Para isso foi realizado o teste no cenário A por 72h, durante o qual o semáforo manteve a operação conforme o esperado.

Com os três testes foi possível verificar o sucesso do sistema em manipular os tempos de estágio tabelados, seja ampliando-os ou reduzindo-os, respeitando com um delay máximo de 1 segundo os tempos estendidos e os tempos mínimos calculados. Além disso, pelo teste 3 verificou-se a mudança de estágio do semáforo em resposta ao contexto da via, no caso a presença de um pedestre decorrido o tempo mínimo de verde para veículos.

## 7. Metodologia Deloitte: Gerenciamento do Ciclo de Vida dos KPI e Resultados

A Deloitte tem o papel de Avaliador e utilizará de técnicas e metodologias para avaliação técnico-econômica-financeira. Foi utilizada a metodologia “KPI Lifecycle and Results Management Process” com o objetivo de ter clareza dos indicadores, modo de avaliação, acompanhamento e possíveis ações a serem tomadas com a avaliação dos resultados apresentados pelos indicadores dentro do contexto da POC de IoT para Cidades inteligentes.



### 7.1 Premissas, restrições e dependências

As seguintes premissas foram consideradas:

- Testes dos dispositivos serão realizados em laboratório e em campo.
- Ter disponível ao menos 50% dos sensores previstos para POC para testes em campo com fornecimento de dados de fontes confiáveis para avaliação da solução econômica e financeira.
- Fornecimento de informações referente aos custos envolvidos na produção dos dispositivos de IoT.

As seguintes restrições foram consideradas:

- As análises, estudos e conclusões serão realizadas dentro do escopo da POC, próximos estudos ou análises poderão ser sugeridas para continuidade e/ou evolução da solução.

As seguintes dependências foram consideradas:

- Massa de dados dos testes realizados em campo.
- Oportunidades e desafios para solução testada em campo (Testes a serem realizados com o uso dos dispositivos).

## 7.2 Determinação dos Controles e Objetivos

Os controles são baseados em indicadores quantitativos e qualitativos para avaliação técnica e econômico-financeira da POC dentro do escopo considerando as seguintes fontes:

- Monitoramento dos dispositivos em campo - acesso à fonte de dados.
- Levantamento dos custos da solução.
- Fontes de dados da CET
- Informações de semáforos e monitoramento de pedestres.

Os indicadores serão classificados em duas perspectivas para que tenhamos clareza dos seus resultados e potenciais benefícios a serem alcançados, sendo essas dimensões: Financeira e Processos e Serviços.

Perspectivas	Objetivos	Motivadores	KPIs
<b>Financeira</b>	Reduzir o custo de manutenção dos semáforos.	Agilidade na manutenção e redução de mão de obra técnicas	Redução de custo de manutenção dos semáforos
<b>Processos e Serviços (Qualitativa)</b>	Possibilitar a melhoria no índice de acidentes de travessia de pedestre em área de semáforos	Controle do semáforo e monitoramento de pedestre	Percepção de melhoria da qualidade de mobilidade de pedestre e redução de índice de acidentes

## 7.3 Relatório de Performance e Controle

São esperados os seguintes resultados:

- Análise do desempenho técnico-econômico da solução testada do Piloto 2.
- Apresentação da análise econômica e financeira e de viabilidade técnica.
- Levantamento preliminar dos custos detectados com a utilização de tecnologia

Considerações:

- O custo médio mensal de manutenção dos semáforos é de R\$70.000,00 por equipe em turno de trabalho.
- O custo diário de cada equipe de trabalho por turno é de R\$ 3500,00, nesse custo está contemplado o fornecimento de uma equipe de dois funcionários com um caminhão que geralmente atende 3 controladoras em 6 horas de trabalho e 2 horas de deslocamento por turno.
- As manutenções são realizadas 24 horas por dia em três turnos de 8 horas, com um custo total estimado em média de R\$10.500,00 por dia.
- Cerca de 10%<sup>2</sup> dos semáforos com falha de operação, apresentam a condição de entrar em modo amarelo intermitente, principalmente após retorno de período de falta de energia elétrica<sup>3</sup>, o que poderia ser restabelecido com o uso da solução de IoT através dos reinicialização automática.
- Considerando que 80% dos casos de amarelo piscante possa ser resolvido via reinício automático, seria possível obter uma economia mensal de pelo menos R\$16.800,00 com a adoção da solução de IoT.

---

<sup>2</sup> <https://noticias.r7.com/sao-paulo/manutencao-de-semaforos-em-sao-paulo-ficara-a-cargo-de-empresa-que-cuida-da-iluminacao-publica-23082022/>

<sup>3</sup> SP ainda tem 135 semáforos inoperantes no 3º dia de apagão; apenas 19% dos equipamentos prejudicados pela chuva voltaram a funcionar | São Paulo | G1

## Análise de viabilidade econômica

Itens	Valores estimados
Investimento inicial da implementação da solução de IoT	R\$ 500.000,00
Taxa de desconto	12%
NPV	R\$ 1.165.692,38
TIR	0,84
Taxa de Lucratividade	3,33
PayBack	1,53 ano

## Análise qualitativa

Segundo dados segundo dados da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) [3]. acidentes com pedestres respondem por 35% das fatalidades de acidente de trânsito, mais de 260 mil internações hospitalares<sup>4</sup> foram registradas em 2023 segundo levantamento realizado pela Associação Brasileira de Medicina do Tráfego (Abramet), 76% dos casos nacionais envolvem pedestres, ciclistas e motociclistas.

Com a implementação da solução de controle do tempo variável de travessia conforme itens 4.15 e 4.16 dos gráficos 1 e 2 nas colunas “Tempo de espera médio dos pedestres” é possível observar que ocorreram redução de até 80% do tempo médio de espera de pedestre o que contribuirá para que o pedestre não atravesse no sinal fechado para ele, diminuindo assim o risco de acidentes. Essa solução em escala poderia contribuir para redução das vítimas de acidentes de trânsito no país.

## 7.4 Estruturação de modelo de negócio sustentável para difusão das soluções

Tendo em vista que a solução de IoT atende tanto tecnicamente como de forma econômico-financeira pode considerar as alternativas de fornecimento da solução que pode ser desenvolvida em grande escala por dezenas de empresas no Brasil para prefeituras das cidades para

<sup>4</sup> [https://abramet.com.br/noticias/quase-8-em-cada-10-vitimas-graves-do-transito-sao-pedestres-ciclistas-ou-motociclistas/?utm\\_source=chatgpt.com](https://abramet.com.br/noticias/quase-8-em-cada-10-vitimas-graves-do-transito-sao-pedestres-ciclistas-ou-motociclistas/?utm_source=chatgpt.com)

atender as demandas de cidades inteligentes através de venda dos dispositivos juntamente contrato de fornecimento de serviço de manutenção. Essa solução também pode servir como base para uma futura implementação do sistema Onda Verde que tem como objetivo a sincronização de funcionamento dos semáforos para gerenciamento do fluxo do trânsito e conseqüentemente diminuição de emissão de gases, tal como o CO<sub>2</sub>, emitido por veículos parados nos congestionamentos das cidades.

## Cenário de vendas de dispositivos

No exemplo abaixo, foi considerada uma amostra de venda de 100 dispositivos anuais.

Venda direta de dispositivos	
Item	Estimativa de Custo (R\$)
Desenvolvimento de software de controle	20.000,00
Implementação da rede local para comunicação dos dispositivos	138.535,00
Compra de dispositivos e instalação	191.065,00
<b>Total do CAPEX</b>	<b>349.600,00</b>

## OPEX (Despesas operacionais anuais)

Venda direta de dispositivos	
Item	Estimativa de Custo Anual (R\$)
Redução de custo na manutenção do sistema	218.400,00
Treinamento e Capacitação	5.000,00
Serviço de conectividade 4G	2.500
<b>Total do OPEX</b>	<b>225.900,00</b>

## OPEX (Despesas operacionais anuais)

Venda direta de dispositivos				
Fonte de receita	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Preço unitário de venda (R\$)	Total do Faturamento (R\$)
Venda da solução de controle	100	1.345,00	3.296,00	329.600,00

### Resumo financeiro:

Total CAPEX: R\$ 349.600,00

Total OPEX: R\$ 225.900,00

Total Faturamento Anual: R\$ 329.600,00

## 7.5 Conclusão

O presente documento demonstra com avaliação favorável, pois a tecnologia atende os requisitos técnicos e as demandas de segurança da informação, e se coloca como uma alternativa economicamente viável para investimento e com potencial de escalabilidade nas cidades podendo ser replicada tanto pelo poder público como pela iniciativa privada.

## 7.6 Sugestões e Recomendações

Com a presente solução IoT é possível fazer um levantamento das condições de trânsito, como emissões de CO<sub>2</sub> (tempo de veículo parado no semáforo), fluidez no trânsito e diminuição do índice de acidentes em comparação ao mesmo mês do ano anterior.



## 7.7 Identificação de oportunidades e barreiras para replicação da solução

Atualmente na cidade de São Paulo possui em média 27000 semáforos<sup>5</sup>, onde menos de 500 são considerados semáforos inteligentes. Com potencial de expansão na substituição dos semáforos antigos, a solução de gerenciamento e manutenção remota dos semáforos proposta pode ser escalável para as prefeituras em todos os estados da federação, fornecendo serviços de venda e ou de comodato.

Importante comentar que a solução se conecta de forma acessória e aproveita a instalação existente no semáforo, sendo uma forma de baratear a implementação da solução.

## 7.8 Contribuição para padrões e certificações técnicas de soluções de IoT

Os esforços de certificações de IoT<sup>6</sup> no Brasil ainda são muito preliminares. Foi mapeado o movimento entre a Associação Brasileira de Internet das Coisas (Abinc) que juntamente com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estão somando esforços para estabelecimento de padrões. No contexto dessa solução, as normativas já adotadas em os dispositivos eletrônicos com conectividade em rede de dados são aplicadas.

---

<sup>5</sup> Semáforos: <https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-com-seguranca/transito/semaforos-inteligentes-sao-paulo/>

<sup>6</sup> Normas IoT: <https://teletime.com.br/05/07/2024/abinc-se-junta-a-abnt-para-normatizacao-no-mercado-de-iot/>

## 8. Referências

[1] Folha. Em uma hora de trânsito em SP a população fuma 5 cigarros, diz estudo. Junho de 2019. Disponível em:  
<https://www1.folha.uol.com.br/equilibrioesaude/2019/06/em-uma-hora-de-transito-em-sp-populacao-fuma-5-cigarros-diz-estudo.shtml>. Acessado em Julho de 2024.

[2] G1. Estudo aponta que poluição mata mais do que o trânsito em São Paulo. Setembro de 2019. Disponível em:  
<https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2013/09/estudo-aponta-que-poluicao-mata-mais-que-o-transito-em-sao-paulo.html>. Acessado em Julho de 2024.

[3] G1. Nove pessoas são atropeladas em média por dia em São Paulo. Agosto de 2019. Disponível em:  
<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/08/08/nove-pessoas-sao-atropeladas-em-media-por-dia-em-sp.ghtml>. Acessado em Julho de 2024.

[4] CETESP. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS CONTROLADOR TEMPO REAL REVISÃO 05. Janeiro de 2016. Disponível em: <https://www.cetesp.com.br/media/1058619/2019.pdf>. Acessado em Julho de 2024.

[5] Movimento Paulista de Segurança no Trânsito. Atropelamentos são a segunda maior causa de morte no trânsito do Estado. Do Portal do Governo. Agosto de 2017. Disponível em:  
<https://www.saopaulo.sp.gov.br/sala-de-imprensa/release/atropelamentos-sao-segunda-maior-causa-de-morte-no-transito-do-estado/>. Acessado em Julho de 2024.

[6] Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento. Plano Diretor. Maio de 2011. Disponível em:  
[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/legislacao/plano\\_diretor/index.php?p=201105](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/legislacao/plano_diretor/index.php?p=201105). Acessado em Julho de 2024.

[7] CET SP. Disponível em  
[https://www.cetesp.com.br/media/452305/Espec\\_Tec\\_Ctrl\\_TR\\_rev05\\_.pdf](https://www.cetesp.com.br/media/452305/Espec_Tec_Ctrl_TR_rev05_.pdf) . Acessado em Julho de 2024.

## **About Deloitte**

As used in this communication, 'Deloitte' means Deloitte Touche Tohmatsu Limited and its member firms.

Deloitte refers to one or more of Deloitte Touche Tohmatsu Limited, a UK private company limited by guarantee ("DTTL"), its network of member firms, and their related entities. DTTL and each of its member firms are legally separate and independent entities. DTTL (also referred to as "Deloitte Global") does not provide services to clients. Please see [www.deloitte.com/about](http://www.deloitte.com/about) for a more detailed description of DTTL and its member firms.

Deloitte provides audit, consulting, financial advisory, risk management, tax and related services to public and private clients spanning multiple industries. With a globally connected network of member firms in more than 150 countries and territories, Deloitte brings world-class capabilities and high-quality service to clients, delivering the insights they need to address their most complex business challenges. Deloitte's more than 220,000 professionals are committed to making an impact that matters.

This communication contains general information only, and none of Deloitte Touche Tohmatsu Limited, its member firms, or their related entities (collectively, the "Deloitte Network") is, by means of this communication, rendering professional advice or services. Before making any decision or taking any action that may affect your finances or your business, you should consult a qualified professional adviser. No entity in the Deloitte Network shall be responsible for any loss whatsoever sustained by any person who relies on this communication.

© 2024. For information, contact Deloitte Touche Tohmatsu Limited.