

Estudo da viabilidade da substituição de semáforos no município de Santo André, São Paulo

Alexandre Cosme Jeronymo, Armando C. Franco e Francisco Hernandez*

O presente trabalho procurará avaliar a viabilidade econômica e tecnológica da transição de semáforos convencionais que utilizam lâmpadas incandescentes e que consomem energia elétrica convencional para os semáforos que utilizam LEDs (diodos emissores de luz). Para tanto abordaremos o Código Brasileiro de Trânsito que determina a divisão de responsabilidades, entre união e governo municipal, em relação ao controle do trânsito (de transeuntes, veículos e animais), faremos uma análise qualitativa comparada entre as tecnologias quanto às características técnicas e operacionais de ambas e finalmente uma análise econômica da substituição utilizando um modelo semafórico de cruzamento viário e dados empíricos coletados em nossas visitas a campo.

INTRODUÇÃO

Com o Código Brasileiro de Trânsito (CBT), lei n.º 9503/1997, ocorrem

modificações referentes ao controle do trânsito (de pessoas, veículos e animais, isolados ou em grupos). O código estabelece, na seção 2, artigo 24.º, que será competência dos órgãos e entidades executivos de trânsito dos municípios: "II - planejar, projetar, regulamentar e operar o trânsito de veículos, de pedestres e de animais, e promover o desenvolvimento da circulação e da segurança de ciclistas; III - implantar, manter e operar o sistema de sinalização, os dispositivos e os equipamentos de controle viário (...); XVI - planejar e implantar e operar medidas para redução da circulação de veículos e reorientação do tráfego com o objetivo de diminuir a emissão global de poluentes (CBT, 1997)."

A responsabilidade dos municípios com o trânsito e transeuntes sofrem modificações no sentido em construir maiores responsabilidades. Aliás, é na alçada municipal que o cidadão reside e muitas vezes é no município que ele constrói e mantém seus laços sociais, profissionais e políticos.

OBJETO

Escolhemos para análise e pesquisa o município de Santo André (SP), importante cidade no cenário político e industrial do país e inserida no complexo municipal do ABCD (importantes cidades do Brasil integram o ABCD,

entre elas Santo André, São Bernardo, São Caetano e Diadema). O espaço geográfico de Santo André está apresentado na figura 1.

A inserção do município de Santo André no Sistema Nacional de Trânsito desperta e norteia o interesse pela pesquisa em Santo André. Porém existem outros valores, também de suma importância, como:

- (a) existência de elevada taxa percentual de pessoas por veículos cadastrados no município;
- (b) modificação no sistema de semáforos do município, que transita dos tradicionais (utiliza lâmpadas incandescentes) pelos LEDs;
- (c) maiores economias de energia elétrica e vida útil estão inseridas no uso dos LEDs e acabam refletindo na redução das despesas com energia elétrica municipal.



Figura 1 - Município de Santo André e vizinhanças



Tabela 1 - Estados com maior número de municípios integrados

	MUNICÍPIOS POR ESTADO	MUNICÍPIOS INTEGRADOS	(%)
Rio de Janeiro	92	52	57%
Mato Grosso do Sul	77	26	34%
São Paulo	645	204	32%
Ceará	184	38	21%

Fonte: Departamento Nacional de Trânsito

Tabela 2 - Projeções da população residente em Santo André (2001 - 2004)

População (1)	2000	649.331
Projeção populacional (2)	2001	653.032
	2002	656.754
	2003	660.498
	2004	664.263

(1) Fonte: Censo 2000/IBGE

(2) Elaborado pela Coordenadoria de Indicadores Socioeconômicos - CIS/SOPP/PMSA

Municípios integrados ao Sistema Nacional de Trânsito

Os quatro estados mais integrados estão apresentados na tabela 1.

Em todo território nacional existem 5 560 municípios e, deste total, existem 662 municípios integrados, valor equivalente a 12% dos municípios do país.

Amostra do contingente populacional e frota de veículos em Santo André

Lançamos mão de alguns dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE,

Tabela 3 - Frota de veículos registrados em Santo André (1997 - 2003)

ANO	FROTA
1997	267.010
1998	280.904
1999	295.045
2000	310.646
2001	326.385
2002	337.830
2003	347.104

Fonte: Coordenadoria de Planejamento e Projetos/TC/EPT

Tabela 4 - Proporção da população/veículos em Santo André (2000 - 2003)

ANO	POPULAÇÃO RESIDENTE (1)	VEÍCULOS REGISTRADOS EM SANTO ANDRÉ	PROPORÇÃO POP/VEÍCULO
2000	649.331	310.646	2.09
2001	653.032	326.685	2
2002	656.754	337.830	1.94
2003	660.498	347.104	1.90

A tabela é elaboração própria

(1) Fonte: Prefeitura de Santo André

e também pela prefeitura de Santo André. Através deles construiremos projeções das populações e veículos cadastrados no município. (tabelas 2, 3 e 4)

Através do cruzamento de dados observamos na tabela 4 a redução do número de habitantes por automóvel, ocorrida entre os anos 2000 e 2003. Dito isto consideramos que o trânsito de automóveis no município de Santo André pode ter ficado mais congestionado. A segurança, de pedestres e motoristas, de certa maneira, poderá reduzir possibilidades de acidentes ao utilizar um sistema de semáforos eficiente.

SEMÁFOROS LEDs

A substituição dos semáforos convencionais utilizados na sinalização rodoviária, por semáforos LEDs, é um projeto já implementado em grande escala em algumas cidades a nível mundial. Dadas as reduções consideráveis que se obtêm, ao nível dos custos energéticos e de manutenção do sistema.

Os LEDs são componentes semicondutores que transformam corrente elétrica em luz monocromática sendo que a luz gerada se concentra na faixa visível do espectro eletromagnético. Há pouca produção de calor no processo. O LED é um diodo (chip) montado em

uma pequena armação encapsulada e revestida por uma campânula refletora em epóxi. Quando uma corrente se es-

tabelece no dispositivo, a luz é produzida de dentro do cristal (chip). A composição dos materiais determina a cor e o comprimento de onda da luz. (figuras 2 e 3)

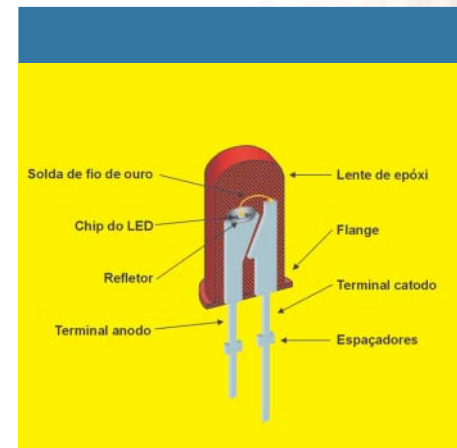


Figura 2 - LED (Diodo Emissor de Luz), detalhe construtivo



Figura 3 - Módulo elétrico de semáforo a LED

Algumas das características dos semáforos LEDs

Mencionaremos algumas das características dos semáforos LEDs e em alguns casos fazendo comparações com os ditos semáforos convencionais (utilizam lâmpadas incandescentes).

Efeito fantasma: efeito que surge pela incidência dos raios solares paralelamente ou quase paralelamente à pista. Esta incidência sobre os semáforos provoca confusão na identificação das cores e na identificação de qual cor está acionada (alimentada). Este fenômeno ocorre nos semáforos incandescentes, mas não nos semáforos LEDs, pois não utilizam refletores.

Uma peculiaridade que surgiu durante a investigação: não há tratamen-

to diferenciado nas tecnologias investigadas para a questão dos daltônicos. Estes tem que escolher estratégias para identificar qual está aceso.

Projetos utilizam de 80 a 120 LEDs, 20W por conjunto luminoso (entendido cada conjunto luminoso constituído pelo grupo de LEDs de cada cor).

Estudos com LEDs de alta intensidade podem levar a consumo de 10W por conjunto. Alimentação convencional dos sistemas 110 ~ 200V.

De maneira geral identifica-se o sistema semafórico utilizando LEDs com uma maior durabilidade, maior eficiência energética, incólume ao efeito fantasma e o conjunto sistêmico tem um custo de manutenção menor em função da vida útil.

Ao estabelecermos uma comparação entre os dois sistemas temos que entender o fenômeno de emissão luminosa: a lâmpada incandescente é constituída por um bulbo abrigando um filamento que atinge a incandescência pela passagem de corrente elétrica: quanto maior a temperatura do filamento maior a eficiência de conversão de corrente elétrica em luz.

Consumo de energia elétrica em cruzamento típico

Um cruzamento típico, aleatório poderá conter: 4 semáforos, 4 repetidores, 8 semáforos de pedestres e 1 controlador. Assim sendo estimamos o consumo de energia elétrica para cada tipo de semáforo:

Semáforo incandescente

3 x 100W + repetidor (outros 300W)

Pedestres 60W

Controlador 200W

Total $8 \times 100 + 8 \times 60 + 20 = 1\ 300W$

Semáforo LED

3 x 20W + repetidor (outros 60W)

Pedestres < 12W

Controlador 20W

Total $8 \times 20 + 8 \times 12 + 20 = 276W$

Vida útil dos LEDs

A vida útil de um LED pode chegar tranquilamente a 50 000 horas porém, a vida útil do sistema como um todo, englobando os LEDs conectados entre si, conectados aos elementos passivos de polarização e alimentação (capacitores, resistores, conjunto

montado em placas de circuito impresso, pontos de solda) pode variar entre 2 e 3 anos. Segundo a empresa Meng pode variar em 9 anos, e considerando a experiência prática do Ciretran de Santo André pode ser maior que 6 anos.

Manutenção

A substituição típica do iluminador se dá com 20% dos LEDs danificados/inoperantes (este índice operacional varia em cada implementação do fabricante e pode ser alterado de acordo com o grau de exigência).

No caso do semáforo incandescente troca-se a lâmpada quando detectada a inoperância.

O principal problema relatado quanto ao serviço cotidiano de manutenção não diz respeito a acidentes de trânsito ou exposição da fiação do sistema, mas aos problemas de alagamento nas porções subterrâneas da cabeção. A umidade provoca perda de isolamento do cabo e a presença de curto automaticamente desativa o sistema.

A baixa temperatura de funcionamento do semáforo LED diminui a necessidade de limpeza (a atração de pó é tanto menor quanto a temperatura de superfície).

Fundamentalmente a vida útil de um sistema semafórico utilizando lâmpadas incandescentes é função de vibrações do conjunto suspenso, flutuações da tensão da rede, oscilações da temperatura ambiente.

Controladores

Os controladores operam

normalmente um cruzamento inteiro, podendo controlar até 12 semáforos, tem potência de 20W segundo pesquisa dentre fabricantes.

Quanto à programação: há períodos de interrupção do serviço de arbitragem no fluxo (entre 22 horas e 6 horas), por questões preventivas na segurança, nestes momentos o semáforo pisca com frequência de 1Hz nos períodos após 22 horas, o consumo cai pela metade.

VIABILIDADE ECONÔMICA

Santo André é uma cidade da Região Metropolitana de São Paulo, com mais de 600 000 habitantes e uma grande quantidade de automóveis em circulação (1,9 veículos por habitante). Assim sendo, a organização do fluxo de veículos exige a existência de uma grande quantidade de semáforos (270) ope-

Tabela 5 - Comparativo entre semáforos convencionais e semáforos LEDs de alta eficiência

TIPOS DE SEMÁFOROS	SEMÁFOROS A LÂMPADA	SEMÁFOROS A LEDs DE ALTA EFICIÊNCIA
Expectativa de vida Típica média	1.000 hrs 6.000 hrs	6anos 10 anos
Decréscimo de intensidade em função do tempo	Alta Maior que 1.000 hrs	Baixa Entre 5% e 10% maior que 10.000 hrs
Contraste	Baixo em relação à luz solar	Alto Importante em países tropicais
Visibilidade	Problemas de visualização em longas distâncias	Excelente visibilidade a longas distâncias
Efeito fantasma	Sim	Não
Neutralidade	Não	Sim
Problemas com lâmpadas queimadas	Sim, semáforo apagado	Perda mínima de 5%, semáforo funcionando
Problemas com lâmpadas no controlador	Sim, pela falta de carga indutiva	Não
Alimentação de rede	110V ou 220V	De 90V a 26V
Manutenção preventiva	Sim, interna e externa	Não, somente externa da lente
Manutenção corretiva	Substituição periódica das lâmpadas	Substituição entre 6 anos e 10 anos

Fonte: Secretaria Municipal de Planejamento/Sempla / Departamento de Informações/Deinfo - Setor de Transportes



Tabela 6 - Custo mensal das equipes de manutenção

CATEGORIA	SALÁRIO	EQUIPES	TOTAL
Motorista	1.832,00	2	3.664,00
Eletricista	2.756,00	2	5.512,00
ajudante	1.252,00	2	2.504,00
Total (100% encargos)			23.360,00
Por cruzamento			116,80

Fonte: Folha de São Paulo 4/setembro/2005

rando no município 24 horas por dia. (tabela 5)

Um dos itens relacionados com a operação dos semáforos é o consumo de energia elétrica que o sistema implica, resultando em uma conta mensal de aproximadamente 60 000 reais paga pela municipalidade.

Diante desses fatos, decidimos realizar um estudo de viabilidade econômica da substituição dos semáforos

Tabela 7 - Hipótese de substituição de semáforos, fluxo de caixa

SANTO ANDRÉ	
FLUXO DE CAIXA	
PERÍODO	FLUXO
0	(3.360.000,00)
1	783.234,66
2	783.234,66
3	783.234,66
4	783.234,66
5	783.234,66
6	783.234,66
7	783.234,66
8	783.234,66
9	783.234,66
10	783.234,66
TIR	19,3%
VPL	R\$ 570.873,55
Pay-back (anos)	4,29

convencionais da cidade por outros a LEDs, que custam muito mais caro, mas consomem muito menos energia.

O estudo de viabilidade econômica é mostrado a seguir.

Hipóteses básicas

1) Cruzamento típico: 4 semáforos; 4 repetidores; 8 semáforos de pedestres; 1 controlador.

2) Santo André possui 270 cruzamentos com semáforos, sendo 70 LEDs e 200 convencionais.

eletricista, 1 378 reais; e ajudante, 626 reais.

4) Uma vez por ano são trocadas as lâmpadas incandescentes dos semáforos convencionais.

5) O custo de cada lâmpada é de 1 real.

6) O investimento inicial para substituição de um semáforo convencional por um a LED é de 16 800 reais por cruzamento padrão.

7) A tarifa de energia elétrica em Santo André é de 0,32545 real por kWh.

8) A potência de uma lâmpada de semáforo convencional é de 100W e 60W para faróis de pedestres.

9) As luminárias LEDs são de 20W e as de pedestres de 12W.

Com base nessas hipóteses foram efetuados os cálculos para a verificação da viabilidade econômica da substituição dos semáforos convencionais que estão operando em Santo André por equivalentes a LEDs, utilizando as seguintes figuras de mérito: Pay-back simples; taxa interna de retorno (TIR); valor presente líquido (VPL) e custo do ciclo de vida (CCV).

Para efeito de cálculo do período de Pay-back, TIR e VPL, foi considerado o valor do investimento inicial correspondente à aquisição de semáforos LEDs para um cruzamento padrão (8 luminárias com os correspondentes faróis de pedestres).

Os dois fabricantes de semáforos LEDs consultados alegaram que não era prática das empresas informar o preço de venda de seus produtos. Diante disso, para efeito dos cálculos de viabilidade do investimento, utilizamos a informação do Departamento de Trânsito de Santo André, uma vez

3) As equipes de manutenção são compostas de um motorista, um eletricista e um ajudante. Os salários (Data-folha 09/2005) são: motorista, 916 reais; oficial

que 25% dos cruzamentos da cidade já possuem semáforos LEDs. De acordo com essa fonte, cada luminária a LED teria um custo aproximado de 700 reais.

Na montagem do fluxo de caixa de uso dos semáforos considerou-se como "receita" a diferença entre os custos operacionais dos dois tipos de equipamento, isto é, o valor da economia de numerário que a substituição do semáforo convencional por um equivalente a LED poderia proporcionar aos cofres do município. No tocante ao investimento inicial consideramos apenas os itens que diferenciam os dois equipamentos, ou seja, não incluímos no valor dos investimentos os postes, os controladores e as obras civis, visto que os dois tipos de semáforos utilizam, com valores idênticos, os mesmos itens. Além disso, no fluxo de caixa dos semáforos convencionais o investimento inicial considerado foi zero, visto que os mesmos já se encontram em operação, não sendo necessário nenhum gasto adicional com os mesmos além de sua manutenção. Os equipamentos alternativos é que implicam em despesa inicial por parte da municipalidade para substituição dos semáforos hoje existentes.

Em Santo André, conforme informado pelo departamento de trânsito local, existem duas equipes de manutenção de semáforos formadas por um motorista, um eletricista e um ajudante. Diariamente essas equipes circulam por rotas predefinidas identificando os semáforos com problemas (lâmpadas queimadas) e realizando os serviços necessários à normalização dos equipamentos. Essa manutenção se refere apenas aos 200 semáforos convencionais existentes na cidade, visto que os equipamentos a LED, que operam desde 2001, ainda

Tabela 8 - Custo do ciclo de vida

ITEM	CONVENCIONAL	LED
Investimento	0,00	16.800,00
Manutenção	5.858,15	0,00
Energia	20.336,38	4.067,28
Total	26.194,53	20.867,28

Ciclo de vida = 10 anos/ Taxa de desconto = 12%



Inovação Tecnológica na Inspeção por END

Mais informações:

<http://www.abende.org.br/conaend.html>
(11) 5586-3197 ou 3172

Realização



Promoção e Realização

PROMAI

uma Multinacional de Avaliação de Integridade e Extensão de Vida de Equipamentos Industriais

Patrocínio Master



Patrocínio Ouro

Patrocínio Bronze



Apoio Institucional

AAENDE - Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales
ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química
ABRACO - Associação Brasileira de Corrosão
ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
AENDUR - Asociación Uruguaya de Ensayos No Destructivos
GLEA - Grupo Latinoamericano De Emisión Acústica
IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás

Visite a Exposição Técnica

não necessitaram de manutenção. Diante dessa informação, os custos de manutenção, demonstrados na tabela 6, foram imputados exclusivamente aos semáforos convencionais.

Com base nos custos de manutenção por cruzamento e considerando-se que os semáforos operem 24 horas por dia, efetuamos os cálculos do fluxo de caixa descontado para a hipótese de substituição de todos os semáforos de Santo André por equipamentos a LED. Os resultados estão na tabela 7.

Após verificada a viabilidade da proposta de substituição dos semáforos através do método do fluxo de caixa descontado calculou-se o custo do ciclo de vida das duas alternativas de sinalização em um cruzamento padrão para a cidade de Santo André. Os resultados são mostrados na tabela 8.

CONCLUSÃO

A análise do CCV dos semáforos indica que é mais econômico para a municipalidade de Santo André manter semáforos LEDs e, isto independente do elevado investimento inicial.

Para o gestor público, o elevado investimento inicial, poderá levá-lo à acreditar que os semáforos LEDs não estão fazendo correspondência aos orçamentos municipais; porém ao final da nossa pesquisa, fica descrita a pertinência da troca de semáforos. Isto quer dizer que o gestor público, ao utilizar a ferramenta da economia financeira poderá decidir sobre o destino dos recursos municipais com maior transparência e coerência, e que a diferença apresentada no CCV (5 327,25 reais) poderá ser empregada em outros setores do governo municipal.

Agradecimentos

Agradecemos às informações prestadas pelo Ciretran de Santo André (SP).

* *Alexandre Cosme José Jeronymo, Armando C. Franco e Francisco del Moral Hernandez são pós-graduados em Energia pela Universidade de São Paulo (USP)*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT - NBR 7995 - Sinalização Semafórica Brasil.
- 2) Bonetti Jr., Vagner - Utilização e parametrização de semáforos. São Paulo, 2001.
- 3) Frota de veículos registrados em Santo André (1997-2003), acesso a <<http://www.santoandre.gov.sp.br>>, em 4 de setembro de 2005.
- 4) Folha de São Paulo, 4 de setembro de 2005.
- 5) Fuller, Sieglinde K. & Peterson, Stephen R. - Life-cycle Costing Workshop for Energy Conservation in Buildings: Student Manual - U. S. Department of Commerce, april/1998.
- 6) Germani, Elmir; Szasz, Pedro - Controle semafórico centralizado. Empresa Brasileira de Transportes Urbanos, São Paulo/SP, 1986.
- 7) Gitman, Lawrence J. - Princípios de Administração Financeira, 7.ª Ed., São Paulo, Editora Harbra, 1999.
- 8) Hirschfeld, Henrique - Engenharia Econômica e Análise de Custos, 6.ª Ed., São Paulo, Atlas, 1998.
- 9) Lei 9503 - Institui o Código Brasileiro de Trânsito, acesso a <<http://www.denatran.gov.br>>, em 4 de setembro de 2005.
- 10) Movimento anual de passageiros e quilômetros no município de Santo André (1990-2003), acesso a <<http://www.santoandre.sp.gov.br>>, em 4 de setembro de 2005.
- 11) Municipalização do trânsito, acesso a <<http://www.denatran.gov.br/orgaosmunicipais.htm>>, em 4 de setembro de 2005.
- 12) População e domicílios (Censo 2000), acesso a <<http://www.ibge.gov.br>>, em 4 de setembro de 2005.
- 13) Principais vantagens LEDs, <<http://www.cobrasin.com.br/semaforosled.htm>>, acesso em 4 de setembro de 2005.
- 14) Projeções da população residente em Santo André (2001-2004), coordenação de indicadores socioeconômicos de Santo André, acesso a <<http://www.santoandre.sp.gov.br>>, em 4 de setembro de 2005.
- 15) Trânsito no grande ABC, acesso a <<http://www.tudoabc.com.br/si/site/0334?idioma=portugues>>, em 23 de agosto de 2005.
- 16) Vilanova, Luís Molist - O controle dos semáforos em tempo real no Brasil, acesso a <<http://www.fcc.org.br/pesquisa/detranIdeias2.html>>, em 23 de agosto de 2005.