



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

Marcio Visini Carlos	Fernando Luiz Britto Bacellar
AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.	AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.
marcio.carlos@aes.com	fernando.bacellar@aes.com

Iluminação de túnel com tecnologia LED

Palavras-chave

Eficiência
Iluminação
LED
Luz
NBR5181
Túnel

Resumo

Neste trabalho apresentamos o projeto de eficiência energética implementado no Túnel Ayrton Senna, na Capital de São Paulo, dentro da área de concessão da AES Eletropaulo, envolvendo estudo, projeto e implantação de ações de melhoria no sistema de iluminação viária utilizando luminárias com tecnologia LED (diôdo emissor de luz), que além da economia de energia superior à 80% proporcionou excelente qualidade de luz (luz estável) sem o efeito “flicker” (cintilamento), excelente índice de reprodução de cores (IRC superior a 80 Ra) e atendimento pleno à norma NBR 5181 (Iluminação de Túneis).

1. Introdução

A iluminação urbana possui grande influência na rotina das grandes cidades, pois valorizam os espaços públicos, empreendimentos comerciais e vias de circulação. Esta iluminação pode ser de destaque, de sinalização e principalmente voltada ao aspecto de segurança, sendo apontada como um grande redutor de criminalidade quando implantada adequadamente. A segurança também é foco na movimentação de pedestres e veículos, pois um local bem iluminado possui um baixo índice de acidentes se comparado a um local mal iluminado tendo as mesmas condições de fluxo.

A iluminação de túneis possui uma regulamentação diferenciada para os diferentes períodos do dia, devendo ser observada a velocidade dos veículos e tendo a necessidade de possuir uma iluminação mais forte na

entrada do túnel, tendo gradativamente a redução da intensidade da iluminação adequando-a a acomodação visual e níveis eficientes de iluminação no restante do túnel. Durante a noite, o nível de iluminamento é reduzido deixando-o de forma uniforme em toda sua extensão.

A implementação do projeto ocorreu entre outubro de 2010 e inauguração da nova iluminação em 25 de janeiro de 2011, aniversário da cidade. Entre esta data e março de 2011 ocorreram ajustes finais nas novas instalações elétricas e também a retirada do sistema antigo de iluminação.

Tabela I. Quadro resumo do projeto de EE.

Quadro resumo do projeto	
Título do projeto	PMSP – Túnel Ayrton Senna
Concessionária	AES Eletropaulo.
ESCO	Alper ILuminação, MGD Engenharia, Senal Engenharia, Conecta Empreendimentos Coordenação AES Eletropaulo
Cliente	Prefeitura do Município de São Paulo
Ciclo	2009-2010
Valor investido	R\$ 6.217.000,00
Modalidade	Fundo Perdido
Tipo	Iluminação

Os Sistemas para Iluminação com LEDs têm sido apontados como o futuro da iluminação. Sua tecnologia atingiu um patamar em que sua eficiência e tempo de vida os tornam fontes ideais para aplicações que não eram viáveis há pouco tempo, desafiando as soluções tradicionais nas aplicações de iluminação.

O LED branco surgiu em torno de 1995, mas suas aplicações eram restritas e sua utilização como fonte de iluminação não era possível devido a sua baixa eficiência luminosa, cerca de 15 lumens por watt.

Os LEDs tiveram avanços tecnológicos sem precedentes nos últimos meses, em termos de intensidade luminosa, eficiência, cor, IRC e estabilidade.

O mercado aponta para luminárias especialmente projetadas para o uso de LEDs, já viáveis para aplicações industriais, iluminação pública e de interiores. Os LEDs estão revolucionando tudo o que se conhece até hoje em termos de fotometria. Novos aspectos como gestão térmica e qualidade de energia tornam-se variáveis novas a serem analisadas na construção de sistemas de iluminação e determinam a qualidade do projeto, bem como eficiência e durabilidade das luminárias. No aspecto de meio ambiente, é necessário destacar a expressiva redução da emissão de gases de efeito estufa em função da energia evitada quando comparada com sistemas convencionais, considerar o menor impacto ambiental proporcionado por um ciclo de vida longo, além de, os sistemas a LED que este neste projeto são contemplados, não utilizam materiais considerados perigosos tais como mercúrio e chumbo. Novos aspectos como gestão térmica e qualidade de energia tornam-se variáveis novas a serem analisadas na construção de sistemas de iluminação e determinam a qualidade do projeto, bem como eficiência e durabilidade das luminárias.

Em relação às tecnologias existentes atualmente para iluminação, alguns sistemas a LED já apresentam diversos benefícios, razão pela qual alguns sistemas já são reconhecidos como a melhor opção para iluminação eficiente. Muitos Municípios estão migrando para a tecnologia LED devido às crescentes pressões por reduções no consumo energético e aquecimento global.

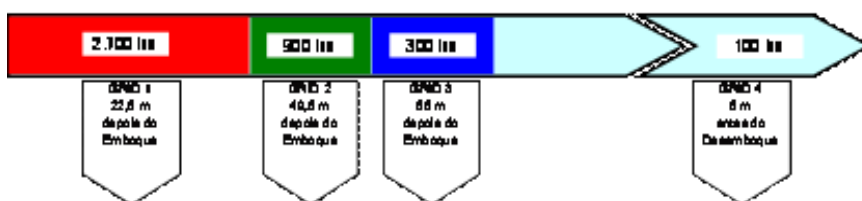
2. Desenvolvimento

I. Escopo do Projeto

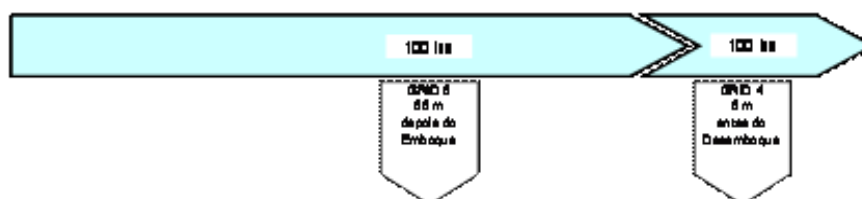
O presente trabalho refere-se à modernização do sistema de iluminação do Túnel Ayrton Senna, através da substituição da tecnologia de vapor de sódio por tecnologia de LED (diôdo emissor de luz), luminárias (IP66), assim como a renovação de todo o sistema elétrico, da infra-estrutura (eletrocalhas, eletrodutos, e acessórios), ao sistema de cabeamento e implementação de iluminação de destaque. Vale ressaltar que, para a execução do serviço proposto, foram observadas as normas ABNT PNB-318/76 e ABNT NBR 5181 de iluminação de túneis. Acendimento imediato.

Abaixo, apresenta-se o nível de iluminamento mínimo das pistas nas diferentes zonas nos diferentes períodos do dia estabelecidos pela NBR 5181.

VISÃO DIURNA



VISÃO NOTURNA



II - Normas para tecnologia LED

Até o presente momento, não existem normas referentes a luminárias utilizando LEDs no Brasil. O COBEI iniciou em Agosto de 2009 um grupo de trabalho para elaboração da norma brasileira (GT LED), com trabalho não concluído até a data de entrega deste relatório.

O documento mais recente relacionando as normas aplicáveis à iluminação a LED referentes a desempenho e segurança é do Departamento de Energia Norte-Americano, intitulado “LED Measurement Series: Solid State Lighting Standards”.

Por trás do desenvolvimento dessas normas estão as entidades mais renomadas globalmente, como:

ANSI - American National Standards Institute, Underwriters Laboratories (UL), CSA International, IEC - International Electrotechnical Commission, NEMA - National Electrical Manufacturers Association, IES - Illuminating Engineering Society, NIST - National Institute of Standards and Technology e CIE - Commission International de l'Eclairage

Dessas, algumas tem delegações no Brasil, como a CIE Brasil que tem seu comitê técnico dentro do Inmetro, e o COBEI, que é o comitê técnico no Brasil na IEC.

Um dos documentos mais importantes dessa publicação é a IES LM-79-08.



Projektor a Led utilizado na implementação do projeto: ALPWF-002 e ALPSD-72

II. Principais benefícios do sistema implementado.

Redução da potência e consumo em 83% com a elevação do nível de iluminação;

Redução de custos relativos à manutenção (serviços de reparos e substituição);

Eliminação/ redução de furtos de cabos e vandalismo, através da reestruturação do sistema de cabeamento, com a troca da posição das luminárias das laterais para o eixo central do túnel;

Aumento de segurança e visibilidade

IRC (Índice de Reprodução de Cores): Elevação de 25 Ra para acima de 80 Ra nas luminárias em LED;

Valorização da plástica arquitetônica do túnel com a implementação de iluminação de destaque nos

emboques e desemboques das pistas utilizando luminárias LED na cor Azul;

Meio Ambiente: Redução do tratamento e descarte de mercúrio no meio

Crédito de Carbono: Outro fator importante de contribuição ao meio ambiente está na redução do consumo de energia elétrica, permitindo desta forma a redução na geração de energia, e conseqüentemente na emissão de CO² na atmosfera. [Obs. Este projeto está habilitado para a geração de créditos de carbono resultante da redução do consumo de energia elétrica (MWh) em função da utilização da tecnologia aplicada]

Depreciação Luminosa: Outro grande diferencial da tecnologia LED está na reduzida depreciação do fluxo luminoso durante a sua vida útil;

Fator de potência superior a 0,92;

Acendimento imediato;

III – Características do sistema antigo de iluminação.

O sistema de Iluminação principal, caracterizado pela utilização nos interiores de emboques aos desemboques das Pistas, com extensões de: Centro – Bairro 1.421,4 m e Bairro – Centro com 1.570 m.

Conforme Norma NBR5181 – Iluminação de Túneis, os túneis foram classificados como longos, com velocidade máxima de passagem de 70 km/h, impondo assim a divisão em trechos distintos de quatro zonas, as zonas 1 com extensão de quarenta metros, zonas 2 e 3 com vinte metros e zonas 4 até o fim da extensão. Há requisitos de iluminação distintos por zonas e por período de utilização, segmentados entre diurno e noturno.

Para início do Diagnóstico Energético foi solicitado junto a Empresa Municipal de Urbanização EMURB – SP, cópias dos projetos originais. O acervo contempla a distribuição de cargas por circuitos, alimentados para os dois túneis através de quatro quadros para comando e proteção, bem como, as características dos projetores, lâmpadas e reatores. Confrontando com o inventário realizado, observa-se que a manutenção realizada no período manteve as características originais do projeto.

O projeto original foi desenvolvido com o objetivo de proporcionar uma iluminação indireta às pistas. Em função do tempo e intensidade de utilização, há fatores decorrentes, tal como, a depreciação natural da estrutura, no aspecto deste projeto, no que se refere às refletâncias de piso, paredes, tetos e dos projetores. A imagem 1, é um registro fotográfico efetuado quando da realização do inventário dos sistemas atuais, proporciona realizar algumas observações:

- Escurecimento da superfície das lajes solidas (emboques e desemboques) e as alveolares que compõe o teto dos túneis;**
- Depreciação da superfície da estrutura metálica que compõe o fechamento lateral;**
- Facilidade para deposição de particulados oriundos das emissões veiculares, em função do ângulo de fixação dos projetores;**
- Depreciação natural das lâmpadas de vapor de sódio;**



Imagem 1

IV – Grid de medições luminotécnicas

Para estabelecimento de parâmetros luminotécnicos comparativos de desempenho entre o sistema atual e o novo sistema proposto, foi definido em comum acordo entre o ILUME PMSP e AES Eletropaulo um grid de medição para verificação do nível de iluminância e uniformidade nas vias, o grid estabelecido supera os requisitos mínimos para verificação de resultados conforme instruções da NBR 5181 – Iluminação de Túneis e NBR 5101 – Iluminação Pública.

Na figura 7 é demonstrada de maneira ilustrativa a demarcação dos pontos, para verificação do nível dos níveis de iluminamento:

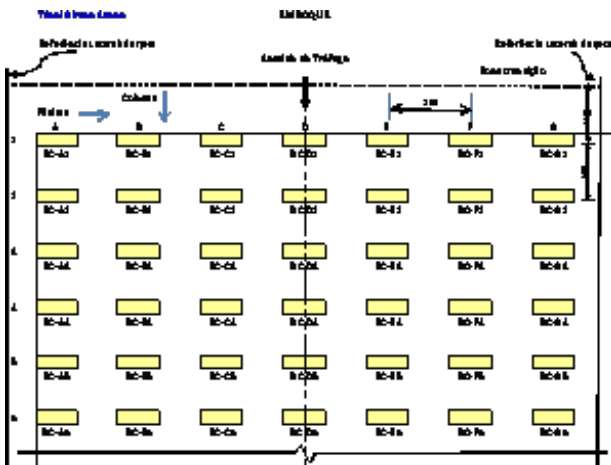


figura 7

V – Projeto luminotécnico.

O sistema de Iluminação principal, caracterizado pela utilização nos interiores das Pistas Centro – Bairro e Bairro – Centro é classificado pela NBR 5181 – Iluminação de Túneis como de extensão longa (... saída não é claramente visível antes da penetração no seu interior). Dentro dos fatores principais requeridos na referida NBR, no projeto foi considerada a divisão por zonas, cada uma com comprimento e nível de iluminação suficientes para permitir a adaptação do olho humano (partindo do sol brilhante e indo até o mais baixo nível usado dentro do túnel).

A velocidade máxima de tráfego no Complexo Ayrton Senna é de 70 km/h.

Os projetos luminotécnicos foram realizadas em softwares

Níveis de Iluminamento por zona, considerados:

Período Diurno:

e-médio Zona 1 = 2.700 lux

e-médio Zona 2 = 900 lux

e-médio Zona 3 = 300 lux

e-médio Zona 4 = 100 lux

Período Noturno:

100 lux em todo túnel

Fator Uniformidade Mínimo = 0,5

Depreciação Modo Diurno L70 / Diurno L70

Tempo Utilização – Sistema Diurno = 4380 h/ano

Tempo Utilização – Sistema Diurno = 8760 h/ano

Refletâncias

As refletâncias dos acabamentos que compõe os túneis foram estimadas em função dos tipos de materiais e orientações baseadas no I.E.S. Lighting Handbook, na geometria dos túneis, desta forma. um projeto de iluminação direta com fixação dos projetores no teto, no pé direito relativamente baixo, e ainda por haver acessos laterais nos túneis o que distância o plano de trabalho das paredes laterais. A somatória desses fatores justifica os resultados simulados onde os softwares utilizados apresentaram pouca sensibilidade às variações dos índices de refletância.

Piso de Via Pública em Concreto	Refletância	20%
Parede em Concreto com Placas Pintadas	Refletância	60%
Teto em Concreto Resinado Claro	Refletância	60%

METODOLOGIA NORMA IES LM-80-2008

Esse documento foi criado para determinar a vida útil real de produtos a LED, e para estabelecer uma linguagem única e consistente para fabricantes e consumidores sobre a vida útil, e disponibilizado em 23 de setembro de 2008.

Ela define como vida útil o termo L70, que significa o tempo no qual se tem 70% do fluxo luminoso inicial.

Como as falhas dos LEDs raramente ocorrem por queima, e sim por depreciação lenta e gradual ao longo do

tempo, a vida útil é determinada baseada em testes elétricos e fotométricos de no mínimo 6.000 horas com coleta de dados a cada 1.000 horas, em situações de temperatura e alimentação elétricas determinadas. Para previsões da vida útil por extrapolação é recomendada a medição com no mínimo 10.000 horas.

A luminária é aprovada segundo os critérios da LM-80

Nas medições o componente, matriz ou módulo de LEDs demonstra uma manutenção do fluxo de $\geq 91,8\%$ para aplicações internas residenciais, e $\geq 94,1\%$ para aplicações externas e todas as comerciais.

A temperatura no LED da luminária for inferior ou iguais às das condições de teste de 6000 horas

A corrente de alimentação do LED na luminária for inferior ou igual à das condições de teste de 6000 horas

O Departamento de Energia Norte-Americano reconhece a validade da LM-80 e determina seu uso para teste de LEDs em luminárias, no programa Energy Star.

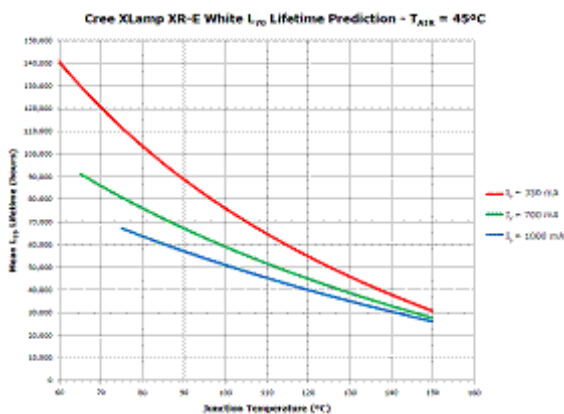
A CREE como parceiro do programa Energy Star, utiliza os métodos definidos na LM-80 para testar a depreciação de longo prazo dos LEDs XLamp.

O relatório de testes detalhado segundo a metodologia encontra-se no anexo (“Cree XLamp® Long-Term Lumen Maintenance”)

Muitos LEDs de alta potência não atingem a L70 mesmo após milhares de horas de teste. Entretanto, a CREE utiliza os dados disponíveis para projetar a vida útil dos LEDs sob essas condições.

A CREE tem acumulados mais de 50.000 horas de testes dos LEDs XLamp sob as condições da LM-80. Os efeitos da temperatura e da corrente foram bem determinados e todos os dados foram utilizados para se projetar a L70 dos LEDs sob diversas condições.

Esses dados são agrupados em curvas para se determinar a vida em função das temperaturas ambiente e de junção e da corrente.



VI - Principais benefícios do sistema implementado.

Redução da potência e consumo em 83% com a elevação do nível de iluminação;

Redução de custos relativos à manutenção (serviços de reparos e substituição);

Eliminação/ redução de furtos de cabos e vandalismo, através da reestruturação do sistema de cabeamento, com a troca da posição das luminárias das laterais para o eixo central do túnel;

Aumento de segurança e visibilidade

IRC (Índice de Reprodução de Cores): Elevação de 25 Ra para acima de 80 Ra nas luminárias em LED;

Valorização da plástica arquitetônica do túnel com a implementação de iluminação de destaque nos emboques e desemboques das pistas utilizando luminárias LED na cor Azul;

Meio Ambiente: Redução do tratamento e descarte de mercúrio no meio

Crédito de Carbono: Outro fator importante de contribuição ao meio ambiente está na redução do consumo de energia elétrica, permitindo desta forma a redução na geração de energia, e conseqüentemente na emissão de CO₂ na atmosfera. [Obs. Este projeto está habilitado para a geração de créditos de carbono, resultante da redução do consumo de energia elétrica (MWh) em função da utilização da tecnologia LED]

Depreciação Luminosa: Outro grande diferencial da tecnologia LED está na reduzida depreciação do fluxo luminoso durante a sua vida útil;

Baixa geração de calor (proporcionando redução na carga térmica, e conseqüentemente, gerando economia com sistemas de refrigeração);

Fator de potência superior a 0,92;

Acendimento imediato;

Fotos ilustrativas:



Trecho interno ao túnel antes da implementação implementação do novo

Emboque do túnel antes da



Iluminação diurna da pista na zona 1 após implementação decorativa

Emboque com iluminação

VII - Análise Teórica

Analisando-se as informações quantitativas preliminares concluímos que, o sistema proposto (Tecnologia LED, promoveu a:

Redução das luminárias, equivalente a economia de 30%;

Redução na Potência instalada em 680 kW, equivalente a economia de 84%;

Redução no Consumo de Energia em 4120 MWh/ ano, equivalente a economia de 83%;

VIII - Principais dificuldades encontradas para a implantação do novo sistema

Para elaboração final do projeto, houve a necessidade de um levantamento topográfico detalhado da parte estrutural de toda extensão do túnel, neste trabalho definiram-se os tipos de fixações das luminárias, encaminhamentos das eletrocalhas, índices adequados de refletâncias dos pisos, paredes e teto.

Houve a necessidade de construção de uma nova rede de alimentação elétrica na parte central sobre a laje

dos túneis devido o elevado índice de furto de cabos nos túneis de São Paulo.

A implementação do sistema ocorreu exclusivamente durante a madrugada entre às 23h30' às 04h30' de domingo a quinta-feira, devido à necessidade de fechamento dos túneis e desvio do tráfego, a atividade também levou em consideração o monitoramento constante do índice de CO2 e O2 existentes no interior de túnel, visto que o sistema de exaustão das pistas apresentava falhas.

Para locação e furação das lajes foram utilizados equipamentos que facilitassem a mobilidade e não emitissem poluição, conforme fotos a seguir:



Fixação de luminárias no teto do túnel pela equipe de eletricitistas.

3. Conclusões

Concluimos que os investimentos aportados neste projeto de inovação tecnológica e melhoria do sistema de iluminação dos túneis se traduziu em elevados ganhos à população que utiliza estes túneis pela qualidade da iluminação implementada, para a Prefeitura como a valorização dos espaços públicos e redução de gastos com o consumo de energia elétrica e a todo sistema elétrico com a redução de demanda, principalmente durante o horário de ponta.

O resumo dos resultados obtidos no projeto é apresentado na tabela 1. Pode ser observado que o RCB obtido está dentro do parâmetro permitido para aprovação do projeto junto à ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

Projeto	EE Energia Economizada (BWh/ano)	REP Resíduo de Energia no Bordo (kWh/ano)	CATotal Custo Atualizado (R\$)	Benefícios Atualizados (R\$)	RQBProj	Pres (%)	RQBTotal
Iluminação	4.720,10	100,00	100.000,42	104.200,30	0,3107	100,00%	0,7077
Total	4.120,10	000,00				100,00%	

4. Referências bibliográficas

Normas:

- [1] NBR 5181. Iluminação de túneis. Rio de Janeiro, 1976.
- [2] ABNT PNB-318/76 – Iluminação de túneis
- [3] NBR 5419. Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2005.
- [4] NBR 5410. Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

Relatórios técnicos:

Diagnóstico energético elaborados pela empresa MGD engenharia sobre o projeto do túnel Ayrton Senna, São Paulo, 2010.

Túnel Ayrton Senna : Nova iluminação