



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

<b>Gustavo Nogueira Salume</b>	<b>Luiz Carlos de Souza</b>
<b>Efficientia S.A.</b>	<b>Efficientia S.A.</b>
gustavo.salume@efficientia.com.br	lucso@efficientia.com.br

**Resultados do Projeto de Eficiência Energética de Substituição dos Semáforos de Belo Horizonte por Tecnologia LED**

**Palavras-chave**

Contrato de Desempenho  
Eficiência Energética  
LED  
Semáforo

**Resumo**

Este trabalho visa apresentar os resultados obtidos com o projeto de substituição das lâmpadas incandescentes de 60 W que dos semáforos de Belo Horizonte por módulos de LED's nos grupos focais veiculares e grupos focais de pedestres. São focados os resultados obtidos em termos de economia de energia, redução de custos de manutenção, melhoria de segurança e confiabilidade do sistema além de uma análise da viabilidade econômica do projeto cujos investimentos foram realizados pelo Programa de Eficiência Energética da CEMIG e regidos por um Contrato de Desempenho específico.

Neste trabalho são detalhadas as metodologias de medições e de cálculo desenvolvidas, que indicaram uma economia de 82% no consumo de energia, valor este que será utilizado, durante período de tempo acordado entre as partes, para amortizar o repasse realizado pela CEMIG para a viabilização do empreendimento.

**1. Introdução**

Viabilizar a utilização de novas tecnologias em uma aplicação de larga escala é sempre um desafio a ser enfrentado por empresas que buscam, na inovação, novos modelos de negócios. Neste sentido o projeto de eficiência energética de modernização dos semáforos de Belo Horizonte foi pioneiro em uma capital brasileira, ao realizar a substituição de 100% das unidades, tanto pedestres quanto veiculares, trocando lâmpadas incandescentes por módulos de LED. Objetivou-se desta forma racionalizar o uso de energia elétrica, reduzir o consumo na sinalização semafórica e proporcionar mais segurança e visibilidade, para pedestres e motoristas, nas operações de trânsito.

Mais do que criar meios para se obter a viabilidade técnica na implantação desta tecnologia, ainda não extensamente difundida, era objetivo do projeto alcançar a viabilidade econômica do mesmo. Desta forma, assinou-se um convênio de cooperação técnica e financeira entre a BHTRANS, autarquia da prefeitura de Belo Horizonte responsável pela iluminação semafórica no município e a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG. Neste convênio, a CEMIG disponibilizou os recursos financeiros para a substituição e a adequação dos semáforos, sendo a economia gerada por esta ação utilizada durante o tempo necessário, para amortizar o investimento realizado. Estes recursos foram oriundos do Programa de Eficiência Energética da empresa, regulamentado de acordo com as normas da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Os objetivos alcançados com a implantação do projeto, medidos conforme metodologia a ser detalhada ao longo deste trabalho, foram:

- Substituição as lâmpadas incandescentes utilizadas nos semáforos por módulos de diodos emissores de luz (LED), otimizando o consumo de energia elétrica (kWh) e reduzindo a demanda de potência (kW) do sistema;
- Redução os custos de manutenção com a troca de lâmpadas queimadas, devido à elevada vida útil dos módulos LED.
- Aumento da segurança nos cruzamentos devido à eliminação do efeito fantasma.
- Criação de condições para que haja um efeito multiplicador em outros centros urbanos.

## 2. Desenvolvimento

Como forma de verificar o atingimento das metas propostas para o projeto, foi elaborado um plano de medição e verificação de resultados a ser executado ao longo da implantação, pretendendo garantir, principalmente, a validação da economia de energia projetada. Este cálculo deveria ser realizado de forma extremamente criteriosa, pois a viabilidade financeira do projeto, e por conseqüência a amortização do mesmo, dependia de tais resultados.

A proposta para campanhas de medições foi portanto baseada no *Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP)*, que fornece uma visão geral das melhores práticas atualmente disponíveis para verificar os resultados de projetos de eficiência energética.

A economia de energia foi determinada pela comparação dos usos medidos antes e após a implementação dos módulos LED nos semáforos.

$$EE = UE_{CB} - UE_{PR} \pm A_{(1)}$$

onde,

$EE$ : economia de energia;

$UE_{CB}$ : uso da energia consumo-base;

$UE_{PR}$ : uso da energia *pós-retrofit*

A: ajustes

O termo “Ajustes” nesta equação geral tem a função de trazer o uso da energia de dois períodos de tempo distintos para as mesmas condições. As condições que geralmente afetam o uso de energia são: o clima, turnos de trabalho e operações do equipamento requeridas por estas condições, sendo que estes ajustes podem ser positivos ou negativos. Os “Ajustes” são comumente executados para restabelecer o consumo-base sob condições *pós-retrofit*.

A determinação adequada das economias é primordial no projeto. Entretanto, a abordagem básica para a determinação das economias está relacionada a alguns elementos do projeto, obedecendo, basicamente, a seguinte rotina:

- Coleta e organização dos dados relevantes do consumo-base de energia e operação do sistema objeto do projeto e registro dos mesmos, de modo que estes possam ser acessados e consultados no futuro.
- Especificação, instalação e teste dos equipamentos de medição necessários ao *Plano de Medição e Verificação*.
- Inspeção dos equipamentos instalados e revisão dos procedimentos de operação (comissionamento) para assegurar que as condições previstas foram atendidas na implementação do projeto e estão de acordo com o mesmo.
- Reunião dos dados de consumo de energia e operação do sistema no período *pós-retrofit*, sendo que estes devem ser consistentes com os dados do consumo-base e operação anterior do sistema, conforme definido no *Plano de Medição e Verificação*.
- Compilação e registro das economias de acordo com o *Plano de Medição e Verificação*.

O uso de energia consumo-base,  $UE_{CB}$ , foi calculado de acordo com as informações do sistema previamente instalado, baseado em lâmpadas incandescentes de 60W, sendo que para cada semáforo, seja de pedestre ou veicular, somente uma lâmpada permanece acesa simultaneamente. O período de funcionamento dos equipamentos é de 24 horas por dia, 365 dias por ano. A tabela 1 apresenta os dados organizados conforme informados pela BHTRANS no início do projeto e utilizados para a determinação da linha de base do consumo de energia.

Tabela 1 – Linha de base do consumo de energia

<i>SISTEMA ANTERIOR</i>			<i>TOTAL</i>
Tipo de lâmpada	Incandescente veicular	Incandescente pedestre	
Quantidade	14.838	7.162	22.000
Potência (W)	60	60	-
Potência instalada (kW)	296,76	214,86	511,62
Energia consumida (MWh/ano)	2.600	1.882	4.482

Para determinar o custo anual de energia elétrica, deve-se levar em conta a tarifa aplicada aos semáforos. Em Belo Horizonte, os controladores dos semáforos são ligados em baixa tensão e tarifados como poder público. A tabela 2 apresenta o cálculo do custo anual total de energia.

Tabela 2 – Custo anual de energia dos semáforos – lâmpadas incandescentes

	QUANTIDADE	POTENCIA (W)	DEMANDA (kW)	CONSUMO (kWh/ano)	PREÇO (kWh)	SUBTOTAL (ano)
GFV	4946	60	296,76	2.599.617,60	R\$ 0,48	R\$ 1.247.816,45
GFP	3581	60	214,86	1.882.173,60	R\$ 0,48	R\$ 903.443,33
<b>TOTAL</b>	8527		511,62	4.481.791,20		R\$ 2.151.259,78

GFV – Grupo Focal Veicular e GFP – Grupo Focal Pedestre

Para a determinação do uso de energia pós retrofit,  $UE_{PR}$ , módulos LEDs nas cores verde, amarelo e vermelho foram testados em laboratório da CEMIG também com acompanhamento da Efficientia S.A., sobre condições de temperatura variando entre  $-10^{\circ}\text{C}$  à  $60^{\circ}\text{C}$ , onde todos os parâmetros verificados tiveram

respostas satisfatórias. Considera-se módulo LED, os módulos focais formados por placas de circuito impresso nas quais são fixados os LEDs, uma fonte de alimentação, proteções mecânicas e elétricas, terminais de conexão, lente e suporte.

A medição e verificação dos semáforos foi ainda realizada em campo em três configurações, que exemplificaram todas as situações existentes nos cruzamentos da cidade. As medições realizadas tiveram participação tanto da CEMIG, através da sua empresa de eficiência energética a Efficientia S.A. como da BHTRANS. Como resultado das medições, chegou-se no seguintes parâmetros de potência para cada tipo de módulo LED:

Tabela 3 – Planilha de Registro de Resultados de Teste Módulos LED - BHTRANS

PLANILHA DE REGISTRO DE RESULTADOS DE TESTE					
MÓDULOS LED - BHTRANS					
Dados do Equipamento Utilizado na medição					
Fabricante: ESB			Modelo: 1681		
Nº série: GMI 064000021		V. Software: 01.23		Exatidão: 0,5	
Documento de referência: Edital BHTRANS código 11/2009					
Módulo LED - Verde					
Grandeza medida	Condição de medição				
	-10°C/tempo	0°C/tempo	25°C/tempo	45°C/tempo	60°C/tempo
Tensão (V)	220V	220V	220V	220V	220V
Corrente (A)	0,047A	0,048A	0,047A	0,045A	0,046A
F.P.	1,0	1,0	1,0	0,97C	1,0
Potência (W)	10W	10W	10W	10W	10W

THD de corrente	11%	10%	10%	13%	12%
Frequência (Hz)	59,9Hz	59,9Hz	60Hz	60Hz	60Hz
Tensão mínima de funcionamento (V)	162V	166V	142V	132V	132V
Quantidade de LEDs queimados	Não teve	Não teve	Não teve	Não teve	Não teve
Módulo LED - Amarelo					
Grandeza medida	Condição de medição				
	-10°C/tempo	0°C/tempo	25°C/tempo	45°C/tempo	60°C/tempo
Tensão (V)	220V	220V	220V	220V	220V
Corrente (A)	0,066	0,066	0,065	0,064	0,064
F.P.	0,97C	0,97C	0,97C	0,97C	0,97C
Potência (W)	14W	14W	14W	14W	13W
THD de corrente	15%	14%	14%	15%	15%
Frequência (Hz)	60Hz	59,9Hz	60Hz	60Hz	60Hz
Tensão mínima de funcionamento (V)	162V	178V	164V	140V	134V
Quantidade de LEDs queimados	Não teve	Não teve	Não teve	Não teve	Não teve

Módulo LED - Vermelho					
Grandeza medida	Condição de medição				
	-10°C/tempo	0°C/tempo	25°C/tempo	45°C/tempo	60°C/tempo
Tensão (V)	220V	220V	220V	220V	220V
Corrente (A)	0,040A	0,040A	0,039A	0,039A	0,038A
F.P.	0,97C	0,97C	0,97C	0,97C	0,97C
Potência (W)	8W	8W	8W	8W	8W
THD de corrente	14%	13%	13%	12%	13%
Frequência (Hz)	60Hz	59,9Hz	60Hz	60Hz	60Hz
Tensão mínima de funcionamento (V)	160V	162V	145V	155V	155V
Quantidade de LEDs queimados	Não teve	Não teve	Não teve	Não teve	Não teve
Data da realização dos testes: 12 e 13/08/2010					

Após as medições, realizadas de forma conjunta pela BHTRANS e Cemig , concluiu-se que a diferença de potência para grupos focais, das lâmpadas usadas (incandescentes) e a média para as 3 cores de LEDs é de 49,8 W. Além disso, o período de funcionamento dos semáforos é considerado como 24 horas diárias.

Com o total de 22.000 lâmpadas incandescentes substituídas totaliza-se uma redução de demanda de 424,13 kW, calculada considerando o percentual de redução medido, correspondendo ao valor de 82,9% em média. Estes resultados podem ser observados na tabela 4:

Tabela 4 – Custo anual de energia dos semáforos – Módulos LED

Demanda Anterior	Precentual de economia medido*	Demanda Posterior	Consumo anual anterior	Consumo anual posterior	Preço kWh	Valor anual posterior
kW	%	kW	kWh/ano	kWh/ano	R\$	R\$
511,62	82,9	87,49	4.481.791,20	766.386,30	0,48	367.865,42

\* Equipamento utilizado para medição:

\* Eletrônico Polifásico - modelo E34A nº de série 0000143166

Desta forma, é possível calcular a energia economizada, demanda retirada e redução de gastos com energia, comparando a situação anterior com o pós-retrofit, conforme apresentado na tabela 5.

Tabela 5 – Resultados Obtidos – Economias

GASTO ANUAL Incandescente	R\$ 2.151.259,78	<b>ECONOMIA ANUAL</b>	<b>R\$ 1.783.394,36</b>
GASTO ANUAL LEDs	R\$ 367.865,42		
REDUÇÃO DE DEMANDA (kW)	424,13	<b>ECONOMIA MENSAL</b>	<b>R\$ 148.616,20</b>
ENERGIA ECONOMIZADA (kWh/ANO)	3.715.404,90		

Os valores de tarifas aplicadas para efeito de cálculo da economia proporcionada remetem aos valores constantes na fatura de novembro de 2011 e foram atualizados ao longo do projeto, que teve seu início em 2009.

A amortização do investimento pode ser calculada com base na composição do custo total do projeto, descrito abaixo:

- Mão-de-obra de Terceiros = R\$ 258.048,85
- Materiais e equipamentos = R\$ 5.885.965,15

· Total = R\$ 6.144.014,00

Considerando um custo de capital de 12% ao ano, pode-se chegar a um prazo de retorno de do investimento de 60 meses, ou 5 anos. Este é o mesmo prazo que foi exigido de garantia dos equipamentos, de forma que fica assegurado à BHTRANS o pleno funcionamento do sistema e sua conseqüente economia de energia durante todo o período de amortização.

Em termos de vida útil, é esperado que os módulos LED apresentem uma durabilidade de 50.000 horas de funcionamento. Desconsiderando o regime de operação dos módulos amarelos, podemos por simplificação, concluir que na média, cada módulo verde e vermelho tem um regime de funcionamento de 12 horas por dia. Desta forma, é esperado que a vida útil do sistema seja cerca de 11 anos.

A partir da comparação entre os períodos antes e pós-implantação do projeto, pode-se dizer que a modernização do Sistema Semafórico da BHTRANS proporcionou os seguintes benefícios adicionais:

- Redução do custo de manutenção do sistema, devido a vida útil prolongada dos módulos LED. As lâmpadas incandescentes anteriores possuíam vida útil estimada de 2.000 horas, sendo assim, com o novo sistema, o contrato de manutenção dos semáforos para substituição de lâmpadas da BHTRANS pode ser revisto e seu valor significativamente reduzido.
- Aumento da segurança da população, devido a eliminação do efeito fantasma. Este é um fenômeno que ocorre quando a luz solar incide diretamente sobre o semáforo fazendo com que o usuário não consiga distinguir qual das três cores está acesa. No sistema baseado em LEDs, as lentes são transparentes e os LEDs são coloridos, não necessitando, portanto, de refletor e eliminando por completo o efeito fantasma em todos os cruzamentos, trazendo maior segurança tanto para motoristas quanto para pedestres.

### **3. Conclusões**

Com os resultados obtidos a partir das medições realizadas em laboratório e nos sistemas de LEDs instalados em campo, observa-se que a redução de gastos com energia elétrica é suficiente para amortização dos investimentos necessários para aquisição e instalação dos equipamentos. Além da economia de energia proporcionada pelo projeto, obteve-se grande redução dos custos de manutenção semafórica do município, devido à vida útil de 50.000 horas dos módulos LEDs e sob ponto de vista da usabilidade do sistema, percebeu-se um grande incremento da segurança dos usuários graças a eliminação do efeito fantasma.

Portanto, a tecnologia de módulos de LED se viabilizou neste caso ao considerarmos estes benefícios, sendo que o tempo de retorno, somente utilizando a redução da fatura de energia elétrica para amortização do investimento, é de cinco anos. Este prazo está dentro da garantia dos produtos adquiridos e é muito inferior à vida útil estimada para os módulos.

### **4. Referências bibliográficas**

---