

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Álvaro Renato Mendonçai

GISELE FERREIRA TYRIAKIii

Resumo

A iluminação pública é um serviço de extrema importância para o bem-estar de uma comunidade. Ela permite o desenvolvimento econômico de uma região, atraindo comércio, turismo ou mesmo promovendo maior segurança em áreas residenciais. Porém, com o crescimento da demanda de energia elétrica e o estagnamento da sua geração, surge a necessidade de se delinear iniciativas que reduzam o consumo. Portanto, a eficiência energética promove idéias para o que desenvolvimento dos parques de iluminação pública seja realizado, evitando o crescimento exacerbado do consumo, em tempos que a energia elétrica não se encontra tão abundante.

Introdução

A iluminação de ruas, avenidas e centros urbanos ou nas regiões periféricas é um bem público, cuja oferta é de interesse para a população, principalmente nos grandes centros urbanos, onde atividades comerciais são desenvolvidas. Devido a fatores socioeconômicos, a iluminação desempenha papel fundamental como inibidor da violência e como mecanismo de desenvolvimento das comunidades de baixa renda, que convivem diariamente com a falta de infra-estrutura urbana (FIDALGO et al, 2007).

Há algumas décadas atrás, a iluminação pública nas grandes cidades do Brasil era muito diferente do que é hoje. Os componentes utilizados demandavam um maior consumo de potência e forneciam pouca eficiência no que se refere a iluminação

pública. Graças a investimentos e programas de ampliação por parte do governo foi possível um desenvolvimento de todo o sistema, com a substituição das lâmpadas de mercúrio que possuíam uma vida útil relativamente curta.

Com o desenvolvimento da lâmpada de vapor de sódio, que mostrava maiores níveis de eficiência luminosa, uma duração cerca de duas vezes maior que a de vapor de mercúrio e um baixo consumo de energia devido a utilização de uma potência menor para obter níveis de iluminância apropriados, desencadeou-se um longo processo que promovia a substituição das lâmpadas existentes por novas e mais eficientes.

A mudança da lâmpada de mercúrio para a de vapor de sódio não era tão simples, tampouco barata, por isso a mudança deveria ser realizada paulatinamente. Enquanto a lâmpada de mercúrio necessitava apenas de um reator como equipamento auxiliar, a de maior eficiência requeria a instalação do reator e um ignitor. Além disso, para a realização da substituição era preciso uma mão de obra especializada, sendo necessário haver um programa de treinamento para os técnicos.

Durante os anos noventa, foram medidas as potências instaladas e foi constatado que, apesar do crescente número de pontos do parque, a potência instalada continuava a mesma. Esse importante aspecto foi possível devido a diminuição da potência das lâmpadas utilizadas, que permitiram que o consumo continuasse num mesmo nível durante anos. A situação do parque ainda mostrava que o número das lâmpadas de vapor de mercúrio ainda era muito grande em relação às de vapor de sódio, mas já eram perceptíveis as vantagens da crescente das lâmpadas de vapor de sódio.

Este trabalho aborda de assuntos ligados ao tema, abordando justificativas de redução de consumo com a crise energética (seção 2), também são referenciados os equipamentos utilizados e suas respectivas características (seção 3). A seção 4 apresenta algumas técnicas de redução de consumo e mostra um exemplo de uma cidade, já a seção 5 aborda um estudo de caso no município de Camaçari. E ao final, são apresentadas as conclusões gerais sobre o tema (seção 6).

Crise Energética

No ano de 2001, houve uma crise energética no sistema brasileiro. E a população do país foi sujeita a um racionamento de energia onde o consumidor era obrigado a diminuir o seu consumo ou seria sujeito a uma multa. Esta foi a solução proposta pelo governo, que necessitava de uma diminuição expressiva da demanda, pois as usinas hidrelétricas do país não foram capazes de produzir energia suficiente para atender toda população do país. Foi, justamente neste ano, que o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) que já existia há alguns anos, ganhou importância a nível nacional. O PROCEL tornou-se conhecido para a população através da certificação de produtos como lâmpadas e eletrodomésticos, classificando-os de acordo com sua eficiência energética. É importante dizer que o custo destes produtos rotulados mais eficientes eram muito mais caros do que os demais, portanto nem todas classes socioeconômicas poderiam aderir a esta substituição dos aparelhos.

Para a iluminação pública, o PROCEL criou um programa que tinha como objetivo promover a eficiência energética nos sistemas de iluminação pública. Este programa foi chamado de PROCEL RELUZ.

O programa acelerou a modernização do serviço de iluminação pública do país, com a instalação de quase 2 milhões de pontos em mais de mil cidades em 19 estados. A economia chega a quase 700 GWh entre os anos de 2000 a 2006, reduzindo a demanda em 161 MW. Essa economia é equivalente a existência de uma usina num valor de R\$ 533 milhões, abastecendo cerca de 410 mil residências em apenas um ano. (ver SOARES, 2007). Uma das metas do programa é atingir 1277 GWh por ano, o que representaria quase 1 bilhão de investimentos em geração de energia.

Aspectos Técnicos

Para a efficientização do sistema as seguintes soluções foram propostas:

Substituição das lâmpadas

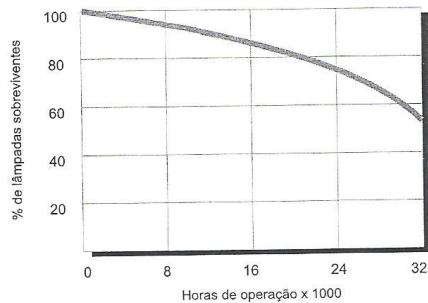
Substituição das luminárias

Substituição das Lâmpadas

Como descrito na introdução, foi a solução primordial utilizada para diminuir o consumo e aumentar os níveis de iluminância e fluxo luminoso, e a vida mediana das lâmpadas causando um impacto visual ao ser humano. A seguir, serão comparados alguns aspectos das lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão (VSAP) e vapor de mercúrio (VM), tais como a vida mediana, depreciação do fluxo luminoso, índice de reprodução de cores (IRC) e temperatura de cor correlata (TCC).

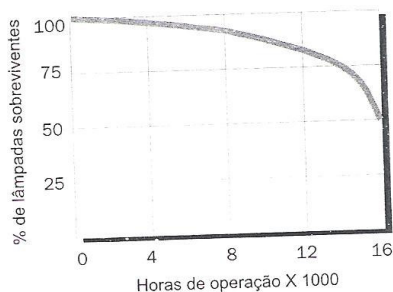
As VSAP hoje são consideradas as que melhor atendem a proposta da iluminação pública.

A vida mediana de uma lâmpada VSAP é cerca de duas vezes maior que a de VM. A seguir, se encontra a curva média de mortalidade das lâmpadas (ver figura 1 e 2).



Fonte: Guia técnico PROCEL RELUZ.

Figura_ 1 Curva de mortalidade de uma lâmpada VSAP



Fonte: Guia técnico PROCEL RELUZ.

Figura_ 2 Curva de mortalidade de uma lâmpada VM

Portanto é possível dizer que as curvas se assemelham, porém a queda da de VM é muito mais acentuada e o eixo das horas de operação da lâmpada de VSAP está representado escala dobro das horas de VM, portanto a durabilidade das VSAP é muito maior que as de VM.

Uma lâmpada de VSAP é capaz de gerar um excelente fluxo luminoso que por sua vez, decresce com a vida mediana da lâmpada. No entanto esta queda do fluxo luminoso é relativamente baixa: quando uma lâmpada está no final de sua vida mediana, o fluxo luminoso é cerca de 90% do inicial. Por suas características de criação, a lâmpada de VM gera cerca de duas vezes menos fluxo luminoso que a de VSAP. E o fluxo luminoso é importantíssimo para a iluminação de qualquer ambiente, pois indica um valor para a capacidade de uma fonte luminosa emitir luminosidade. Já a depreciação de uma lâmpada de VM é cerca de 80% do inicial.

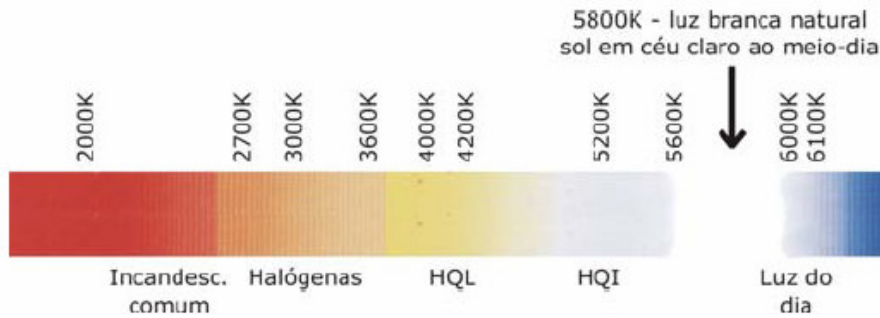
O índice de reprodução de cor de uma lâmpada de VM é bem maior que as de VSAP (ilustrado na tabela 1 a seguir). Porém para a iluminação pública não é necessária uma alta fidelidade de reprodução das cores, e os valores de IRC das lâmpadas de VSAP são considerados aceitáveis pelas agências regulatórias.

Tabela_ 1 Índice de Reprodução de Cores

Lâmpada	IRC
VSAP	22 a 25
VM	40 a 55

Fonte: Guia técnico PROCEL RELUZ

As fontes de luz emitem uma cor que pode ser classificada como quente, fria ou neutra. As cores quentes têm uma aparência avermelhada ou amarelada, as frias são azuladas e as neutras possuem uma aparência esbranquiçada. Quanto maior a TCC, mais fria será a sua aparência, e quanto menor, sua aparência será quente. A unidade utilizada é o Kelvin (K) (ver figura 3). As lâmpadas VSAP possuem TCC de 1900K a 2100K (frias), enquanto as de VM apresentam TCC de 3350K a 4300K (neutras ou quentes).



Fonte: Adaptada de SILVA (2007).

Figura_ 3 Temperatura de cor correlata

A tabela 2 apresenta um sumário das características gerais de cada lâmpada.

Tabela_ 2 Comparativo VSAP x VM

Características	Tipos de Lâmpada	
	VSAP	VM
Potências Disponíveis (W)	70, 150, 250 e 400	80, 125, 250 e 400
Eficiência Luminosa (Lux)	80 a 150	45 a 58
Vida Mediana (horas)	18000 a 32000	9000 a 15000
Equipamentos Auxiliares	Reator e Ignitor	Reator
IRC (%)	22 a 25	40 a 55
TCC (K)	1900 a 2100	3350 a 4300

Fonte: Guia Técnico PROCEL RELUZ

Vale ressaltar ainda, que a lâmpada de VM é extremamente perigosa, pelo fato de usar como substância o mercúrio. Os vapores do mercúrio são altamente tóxicos e são invisíveis e inodoros caso a lâmpada se quebre, portanto a pessoa não percebe quando o mercúrio entra no seu organismo. Após a intoxicação, o indivíduo é sujeito a uma série de sintomas como: irritação da pele e olhos, dores de estômago, diarreia, depressão, ansiedade, inflamação e sangramento das gengivas, insônia, falha da memória, fraqueza muscular, nervosismo, mudança de humor e até demência. No

sistema nervoso, o mercúrio causa danos irreversíveis, podendo causar lesões cerebrais, sujeitar o indivíduo a um estado vegetativo e até a sua morte.

Substituição das Luminárias

Com o passar dos anos, a luminária ganha uma tonalidade amarelada, acumula sujeira e isso influi muito na eficiência luminosa, pois bloqueia o fluxo. Também há fatores como vandalismo, em que algumas luminárias são quebradas ou danificadas. Recomenda-se que as luminárias sejam trocadas de quinze em quinze anos e haja algum tipo de fiscalização para, caso ela esteja danificada por algum motivo, seja efetuada a sua troca.

A escolha da luminária depende da aplicação e da potência a ser utilizada, como está ilustrado na tabela 3:

Tabela_ 3 Utilização das luminárias

Luminária	Lâmpada	Aplicação	Altura
Ornamental	70W	Praças, áreas verdes, calçadas e peq. vias.	3 a 4 m
Fechada com refrator de Policarbonato	70/100W	Vias de baixo trânsito de pedestres e veículos, e de bairros periféricos com alto índice de vandalismo.	7m
Fechada com vidro Prismático	250W	Vias com fluxo de veículos e pedestres normal.	8 m
Fechada com vidro plano	400W	Vias de grande porte.	Mínimo de 12 m

Fonte: Guia Técnico PROCEL RELUZ

Um fator que é extremamente importante no uso das luminárias fechadas é o Grau de Proteção (IP), que indica o quanto a lâmpada é protegida para que não haja infiltração de sujeira, água, ou até mesmo insetos.

Como foi previamente dito, o vandalismo é um problema existente, e uma maneira para mitigá-lo é a utilização da luminária fechada com um alojamento para os equipamentos auxiliares onde dificultará o furto de alguns componentes.

Técnicas para Redução de Consumo

No que se refere à diminuição do consumo de uma via, deve-se atentar para a redução da potência das lâmpadas, caso seja possível, e para a escolha de lâmpadas que possuam maior vida útil e possuam um fluxo luminoso aceitável para tal via. A iluminação em excesso, além de aumentar muito o consumo, causa desconforto aos pedestres e condutores. Além disso, a utilização de uma luminária bem protegida é imprescindível, pois permite que o fluxo luminoso da mesma perdure por muito mais tempo do que uma luminária aberta, mesmo quando uma lâmpada menos potente esteja sendo utilizada. Caso a luminária não seja bem protegida, ela se tornará opaca mais rapidamente com a ação do tempo, bloqueando o fluxo luminoso da lâmpada. Por fim, uma luminária pouco protegida permite o acúmulo de insetos, dificultando ainda mais a passagem do fluxo luminoso.

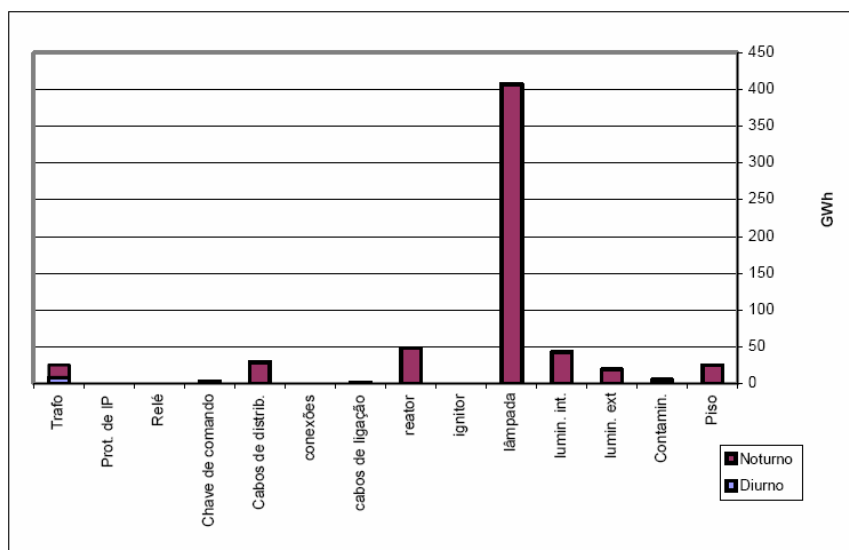
A manutenção dos equipamentos é de suma importância para que o parque continue bem iluminado e o consumo controlado. No caso da falta de manutenção do ponto, os componentes podem eventualmente funcionar indevidamente, podendo acarretar um acréscimo de consumo no ponto ou causar o seu desligamento, sem nenhuma razão aparente. Um exemplo disto, é que o relé passa a funcionar indevidamente em razão da leitura da luminosidade incorreta, acionando a lâmpada durante o dia e levando a um desperdício de energia.

Outro aspecto que pode reduzir o consumo significativamente é a diminuição do período de funcionamento de certas lâmpadas em locais onde o fluxo de pedestres é ocioso em certos períodos do dia (como praças, por exemplo). Portanto, os centros

estariam iluminados plenamente e locais pouco movimentados a partir de certos horários poderiam desligar ou reduzir a sua iluminação por razões de consumo.

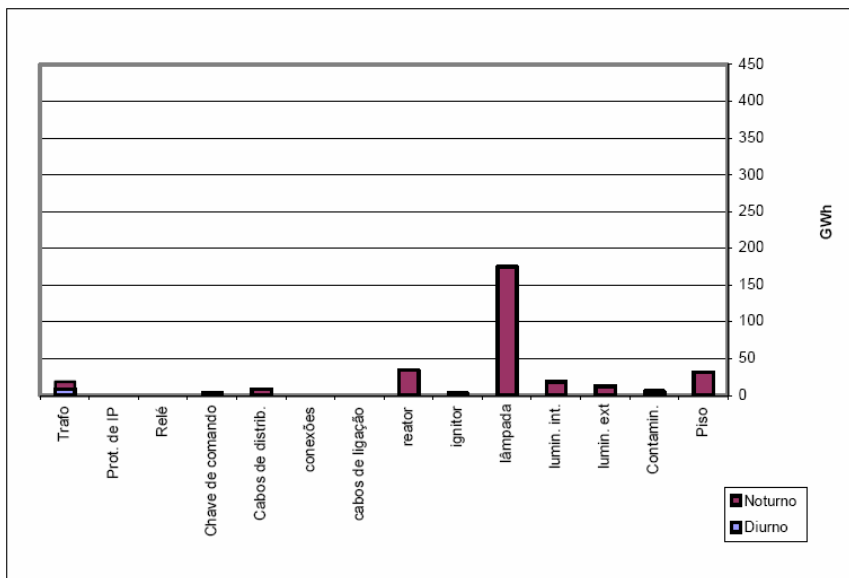
Para que este ganho seja possível, torna-se necessário um investimento em relés temporizados nos locais onde o fluxo de pedestres é baixo ou nulo durante certos horários do dia. Estes relés poderão ter uma programação de funcionamento menor do que os convencionais, trabalhando cerca de 8 horas por dia ao invés de 12 horas diárias, gerando redução no consumo. Um aspecto que não pode ser esquecido é a instalação de um circuito para medir o consumo, pois se o consumo do local que se deseja iluminar for estimado, os reais ganhos de energia pela prática dos relés não estariam expostos. Vale ressaltar que em áreas onde houver grandes índices de violência, tal prática não é recomendada.

O trabalho de LOPES (2002) ilustra os ganhos obtidos com o uso de materiais mais eficientes. De acordo com este estudo, foram levantados dados que mostravam a parcela do consumo que cada componente consumia anualmente e, a partir destes valores, foi estimado o consumo partindo do princípio que os materiais seriam substituídos por materiais eficientes, portanto forneceriam maiores níveis de iluminação e ainda assim diminuiriam o consumo de energia. Vale ressaltar que este estudo foi realizado considerando a presença de uma pequena parcela de lâmpadas de mercúrio na matriz energética da grande São Paulo (ver figuras 4 e 5).



Fonte: LOPES (2002).

Figura_ 4 Consumo anual de energia num trecho ineficiente



Fonte: LOPES (2002).

Figura_ 5 Consumo anual de energia num trecho eficiente

Com a análise dos gráficos podemos verificar que o consumo é reduzido pela metade com a utilização de materiais mais eficientes. A queda expressiva no consumo se dá nas lâmpadas que passam a consumir cerca de 50% a menos de energia, e os transformadores, que com a diminuição da carga, passam a operar com um rendimento maior, diminuindo o consumo ainda mais.

No total foram economizados cerca de 300GWh, que seriam equivalentes à aproximadamente R\$ 61 milhões, tendo em custo a tarifa de R\$ 0,20363 por KWh, que é a tarifa empregada pela concessionária nas redes de distribuição atualmente.

Estudo de Caso

No dia 29 de Outubro de 2007, a partir das 18:30 da noite foi realizada uma medição dos níveis de iluminância da Av. Jorge Amado (antiga Av. Leste), situada na entrada do município de Camaçari. A avenida possui 28 postes em sua totalidade, com 15m de altura. Há predominância da luminária DI-430 do fabricante Repume, quatro delas e conseqüentemente quatro lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão de 400W,

as mesmas possuíam reator e ignitor únicos. Foi observado que a via possui medidores da concessionária.

Porém, em um dos pontos da avenida foi realizada uma experiência utilizando um poste de aço com um Light Emmiting Diode (LED) de característica decorativa, contendo dois braços de 3m e as luminárias fechadas em cut-off (modelo Lexa A-300) do fabricante Almec.

Nas tabelas 4 e 5 a seguir, estão ilustradas tabelas do posteamento e do quadro de luminárias da avenida, respectivamente.

Tabela_ 4 Distribuição do posteamento

Posteamento	Qtd.	Lâmpadas	Braços	Consumo (mês)	Altura
Comum (Tipo-R)	27	4 x 400W + reator	-	17652 KWh (654 p/ ponto)	15 m
Aço	1	2 x 400W + reator	2 x 3m	327 KWh	

Tabela_ 5 Quadro de luminárias

Modelo	Fluxo Luminoso*	Eficiência Luminosa	Grau IP	Iluminância Média	Observações
Pétala (DI-430)	3057 lm	1,9 lm/W	65	30,56 Lux	Grande parte das luminárias se encontravam sujas, bloqueando o fluxo luminoso.
Fechada Cut-Off (Lexa A-300)	6480 lm	8,1 lm/W	65	64,8 Lux (1 ponto)	Luminárias em excelente estado, os níveis de iluminância eram visivelmente maiores que o resto da via.

*Valores referidos para uma área de 100m², extraídos do ponto de reflexão perpendicular a luminária.

Tabela_ 6 Medições

	Poste #1	Poste #2	Poste #3	Poste #4
Base	47,7 Lux	25,4 Lux	11,8 Lux	42,3 Lux
Meio Fio	28,2 Lux	28,7 Lux	34,8 Lux	64,8 Lux
Pista	12,3 Lux	6,7 Lux	-	54,7 Lux
Observações	Entre os postes #1 e #2: 5,5 Lux (distância desconhecida). Havia 1 lâmpada quebrada. Luminárias sujas.	As luminárias eram diferentes do modelo LP-89. Luminárias sujas.	Haviam 2 lâmpadas quebradas. Luminárias sujas.	Poste com LED's. Entre os postes #3 e #4: 13,7 Lux (distância desconhecida).

O consumo estimado da avenida é de 17978,4 KWh, considerando que o kilowatt hora custa R\$ 0,20363, imposto pela concessionária. O consumo mensal total é de R\$ 3.660,94.

Um fator determinante para os níveis de iluminância foram às luminárias, que se encontravam muito velhas, os difusores em acrílico estavam amarelados e as lâmpadas estavam cobertas por sujeira (supostamente seriam areia e insetos). Com a luminária bloqueada pela sujeira, o fluxo luminoso é totalmente afetado, diminuindo a eficiência da lâmpada significativamente. É importante ressaltar que alguns níveis de iluminância aferidos não atenderam aos valores mínimos recomendados pelo PROCEL(20 Lux para uma via arterial). Tais valores seriam muito mais satisfatórios caso houvesse manutenção destas luminárias.

No poste que possui o LED, as luminárias se encontravam em ótimo estado. Demonstrou um desempenho muito mais satisfatório que os demais e é válido afirmar que o seu nível de consumo é a metade daquele dos postes convencionais da avenida, pelo fato dele ter apenas duas lâmpadas.

Vale ressaltar que havia interferência da luminosidade dos postes localizados nos lados opostos ao canteiro central, influenciando de alguma forma nos valores aferidos.

Uma sugestão viável seria a implantação do poste com LED's por toda extensão da Avenida, pois, além de prover um retorno do investimento num médio período de tempo, os níveis de iluminância da via seriam muito maiores, promovendo uma maior segurança no trânsito de pedestres e veículos da via e nas imediações da avenida. O

novo consumo da via seria de 9.152,64 KWh resultando em R\$ 2.162,77 mensais e aliado ao custo da obra de R\$ 46.792,08, o retorno do investimento seria de 2,6 anos (31 meses).

Conclusões

Após a realização da medição, a identificação dos fatores que contribuem de maneira negativa para iluminação pública ficou clara. Promover a utilização de equipamentos duráveis e que representem um menor consumo dos materiais convencionais resultam numa via plenamente iluminada e com pouco índice de manutenção por falha de equipamento, o que reduz os gastos com equipes de manutenção.

Outro aspecto importante é a possibilidade da expansão do parque de iluminação pública com maior controle do consumo, que com as necessidades atuais é imprescindível que o consumo seja mantido, visto que a capacidade de geração de energia elétrica do país não pode crescer na mesma velocidade.

Referências

ELETOBRÁS/PROCEL. Gestão Energética Municipal. Brasília-DF Guia Técnico, 1998.

FRÓES DA SILVA, L.L. Iluminação Pública no Brasil: Aspectos Energéticos e Institucionais. UFRJ Dissertação Mestrado, 2006.

CESP/CPFL/ELETRIPAULO/COMGÁS. Manual de Administração de Energia: Iluminação. São Paulo-SP, 1998.

LOPES, S.B. Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação Pública. Dissertação apresentada ao Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2002.

SILVA, H.C. Grandezas Fotométricas e Método de Lúmens. Laboratório de Conforto Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

ELETROBRÁS/PROCEL RELUZ. Iluminação Pública Eficiente. Rio de Janeiro - RJ Guia Técnico, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, Iluminação Pública. Rio de Janeiro, 1992, NBR 5101.

SOUZA, R.C., MATOS, Á.A., SARDINHA, M.D., Implantação do Sistema de Gestão para Eficientização da Universidade Federal do Amazonas. Publicado no XII Congresso de Iniciação Científica. Manaus, 2003

COELBA. Tabela de Tarifa e Preço Final de Energia Elétrica. Resolução 456 de 18/04/2007 (VIG-22/04/07). Salvador – BA, Outubro de 2007.

ROSA, L.P. Crise Elétrica: Causas e Racionamento. Revista Teoria e Debate, artigo publicado em 31/08/2001. Rio de Janeiro - RJ, 2001.

SOARES, G.A. O PROCEL e Seus Programas Setoriais. ELETROBRÁS / PROCEL. Maceió – AL, Outubro 2007.

FIDALGO, F. ; FERREIRA, G. ; TIRYAKI, G. F. . Iluminação Pública em Salvador: Gestão, Eficiência e o Papel do Agente Regulador.. In: V Congresso Brasileiro de Regulação, 2007, Recife. V Congresso Brasileiro de Regulação, 2007.

ⁱ *Álvaro Renato Mendonça* é estudante do curso de Engenharia Elétrica da UNIFACS, cursando o 7º semestre na modalidade Eletrotécnica. Realiza projetos junto ao G-RGC (Grupo de Pesquisa em Regulação, Gestão, Defesa da Concorrência e Desenvolvimento Sustentável), e também é aluno do curso de Engenharia do Petróleo (PRH-23) na UNIFACS desde 2007.

ⁱⁱ *Gisele Ferreira Tyriaki* possui graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Federal da Bahia (1993), mestrado em Economia - Northeastern University (1996) e doutorado em Economia - George Mason University (2001). Foi consultora no Banco Mundial (Washington) por quatro anos e professora assistente na Anadolu University (Turquia) entre 2002 e 2007. Atualmente, é pesquisadora PRODOC/CNPq na Universidade Salvador (Bahia, Brasil), onde coordena o G-RGC: Grupo de Pesquisa em Regulação, Gestão, Defesa da Concorrência e Desenvolvimento Sustentável, certificado pelo CNPq desde Abril de 2007. Tem experiência na área de Economia, com ênfase em Economia Industrial, atuando principalmente em temas no setor de energia.