

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DE CURITIBA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

DEIVID WAGNER BORBA
JULIANO CHRISTMANN

**ESTUDO DO IMPACTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM
SEMÁFOROS E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE OPERAÇÃO COM
PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2013

DEIVID WAGNER BORBA
JULIANO CHRISTMANN

**ESTUDO DO IMPACTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM
SEMÁFOROS E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE OPERAÇÃO COM
PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS**

Monografia de Especialização em Eficiência Energética, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: M. Sc. João Israel Bernardo.

CURITIBA
2013

DEIVID WAGNER BORBA
JULIANO CHRISTMANN

ESTUDO DO IMPACTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SEMÁFOROS E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE OPERAÇÃO COM PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Especialista em Eficiência Energética, do Curso de Especialização em Eficiência Energética do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba, 1 de Outubro de 2013.

Prof. Luiz Amilton Peplow, M. Eng..
Coordenador de Curso de Especialização em Eficiência Energética
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

Profª Rosangela Winter, M. Eng.
Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Gilberto Manoel Alves, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. João Israel Bernardo, M. Sc.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Roberto Cesar Betini, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Ubiradir Mendes Pinto, Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

BORBA, Deivid Wagner; CHRISTMANN, Juliano. **Estudo do impacto da eficiência energética em semáforos e análise da viabilidade de operação com painéis solares fotovoltaicos**. 2013. 58f. Monografia (Especialização em Eficiência Energética). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Este trabalho apresenta um estudo sobre o impacto da Eficiência Energética em semáforos na cidade de Curitiba, no Estado do Paraná e no Brasil. Os impactos causados pela substituição das lâmpadas incandescentes por tecnologia LED é o cerne desse estudo, bem como a consequente redução da potência instalada, do consumo de energia e dos custos de manutenção. Além disso, propõe-se a inclusão de painéis fotovoltaicos em semáforos, buscando uma forma sustentável de operação. Através de ensaios e medições elétricas, são apresentadas configurações técnicas, nas quais os resultados são analisados caso a caso e discutidos sob a ótica do perfil de consumo e tarifação da energia elétrica no Brasil.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Semáforos. *LED*. Geração Fotovoltaica.

ABSTRACT

BORBA, Deivid Wagner; CHRISTMANN, Juliano. **Study of the impact of energy efficiency in traffic lights and analyze the feasibility of operation with photovoltaic solar panels.** 2013. 58f. Monografia (Especialização em Eficiência Energética). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

This paper presents a study on the impact of energy efficiency in traffic lights in the city of Curitiba, state of Paraná and in Brasil. The impacts caused by the replacement of incandescent bulbs with LED technology is the core of this study, and the consequent reduction of installed power, energy consumption and maintenance costs. Also it is proposed to include photovoltaic panels on traffic lights, seeking a sustainable operation. Through testing and electrical measurements are presented technical configurations, in which the results are examined individually and discussed from the perspective of the consumption profile and electricity pricing in Brasil.

Keywords: Energy Efficiency. Traffic Lights. LED. Photovoltaics Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes da estrutura de um semáforo	15
Figura 2 – Representação gráfica de um plano semaforico	16
Figura 3 – Tipos de grupos focais	17
Figura 4 – Controlador Eletrônico Programável.....	19
Figura 5 – Emissão de luz do <i>LED</i>	20
Figura 6 – Diagrama de cromaticidade e comprimento de onda utilizados no <i>LED</i>	21
Figura 7 – Rua Avanhandava antes (a) e depois (b) da substituição das lâmpadas sódio por <i>LED</i> ...	24
Figura 8 – Comparativo de iluminação pública antes (a) e depois (b) da instalação de <i>LED</i>	25
Figura 9 – Módulo fotovoltaico	28
Figura 10 – Componentes do Sistema Fotovoltaico	29
Figura 11 – Média Anual de Insolação no Brasil (horas)	31
Figura 12 – (a) grupo focal com lâmpadas incandescentes e (b) grupo focal com <i>LED</i>	39
Figura 13 – (a) Conjunto refletor, lente, bocal e lâmpada e (b) interior do módulo <i>LED</i>	39
Figura 14 – Aspecto visual de semáforo com iluminação lâmpada incandescente (a) e <i>LED</i> (b)	40
Figura 15 – Estrutura utilizada no ensaio.....	46
Figura 16 – Painel utilizado no ensaio	47
Figura 17 – Demais componentes utilizados no ensaio	48
Figura 18 – Valores de corrente contínua coletados no ensaio.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência de conversão e custo de células solares.....	27
Tabela 2 - Tabela de espessura de condutor para sistema corrente contínua - CC 12V.....	32
Tabela 3 – Consumo de um grupo focal tipo “I” com lâmpadas incandescentes.	34
Tabela 4 – Consumo de um grupo focal de pedestres com lâmpadas incandescentes.	34
Tabela 5 – Consumo do exemplo 1 com lâmpadas incandescentes.....	35
Tabela 6 – Valores de consumo do exemplo 2 com lâmpadas incandescentes.	35
Tabela 7 – Consumo de um grupo focal tipo “I” com <i>LED</i>	36
Tabela 8 – Consumo de um grupo focal de pedestres com <i>LED</i>	37
Tabela 9 – Valores de consumo do exemplo 1 com <i>LED</i>	37
Tabela 10 – Valores de consumo do exemplo 2 com <i>LED</i>	37
Tabela 11 – Resumo dos dados de consumo dos semáforos.....	38
Tabela 12 – Histórico de manutenção antes e depois da troca.....	41
Tabela 13 – Comparativo de manutenção no estado do Paraná.	41
Tabela 14 – Comparativo de manutenção em todo o Brasil.....	42
Tabela 15 – Custo unitário de implantação em Curitiba-PR.....	43
Tabela 16 – Custo total de implantação em Curitiba-PR.....	43
Tabela 17 – Fluxo de caixa para o projeto de Curitiba-PR.....	43
Tabela 18 – Custo total de implantação no Estado do Paraná.....	44
Tabela 19 – Fluxo de caixa para o projeto no estado do Paraná.	44
Tabela 20 – Custo total de implantação no Brasil.....	44
Tabela 21 – Fluxo de caixa para o projeto no Brasil.....	45
Tabela 22 – Especificações técnicas do painel solar fotovoltaico.	47
Tabela 23 – Equipamentos, custos e <i>payback</i> do caso 1.....	51
Tabela 24 – Equipamentos, custos e <i>payback</i> do caso 2.....	51
Tabela 25 – Equipamentos, custos e <i>payback</i> do caso 3.....	52
Tabela 26 – Equipamentos, custos e <i>payback</i> do caso 4.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 PROBLEMA.....	9
1.2 JUSTIFICATIVA.....	10
1.3 OBJETIVOS	10
1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 O SEMÁFORO	13
2.2 TECNOLOGIA <i>LED</i>	20
2.3 GERADOR FOTOVOLTAICO.....	26
3 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....	34
3.1 SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS INCANDESCENTES POR <i>LED</i>	38
3.2 O IMPACTO NA MANUTENÇÃO.....	40
3.3 ESTUDOS ECONÔMICOS PARA A IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA <i>LED</i>	42
3.4 SEMÁFORO COM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO.....	45
4 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS	54
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

A iluminação pública de modo geral, é responsável por um grande consumo de energia elétrica, correspondendo aproximadamente por 4,5% da demanda nacional e 3% do consumo no Brasil (SAIDEL *et al.*, 2012, p.40). Algumas medidas vêm sendo tomadas de modo a aumentar a eficiência nos equipamentos envolvidos nessa área, tais como substituição de lâmpadas com menor eficiência por de maiores eficiência, troca de luminárias antigas por luminárias com maior refletância, substituição de reatores, etc.

Na sinalização viária não é diferente. Muitos projetos de eficiência energética voltados a semáforos têm sido feitos no país nos últimos três anos. A principal alteração para aumentar a eficiência em um semáforo é a substituição das lâmpadas incandescentes por conjuntos luminosos compostos por semicondutores emissores de luz, chamados de *LED – Light Emitter Diode* (Diodo Emissor de Luz), que convertem energia elétrica em radiação luminosa.

As lâmpadas incandescentes utilizadas, na grande maioria com potência de 100W e em alguns casos com potência de 60W, possuem filamento reforçado especialmente projetado para resistir às vibrações e vida útil superior às demais, variando de 2000 (PHILIPS e OSRAM) há 10000 horas (HELIOS), de acordo com cada fabricante.

Visando uma maior eficiência energética, obtendo redução da demanda no horário de ponta e diminuição do consumo de energia elétrica, além da melhoria das condições dos serviços de sinalização semafórica, essas lâmpadas incandescentes estão sendo gradativamente substituídas por conjuntos luminosos com tecnologia *LED*.

Além da reduzida potência dos módulos a *LED*, em média 10W, comparado com a lâmpada incandescente, 100W, o tempo de vida útil média está acima das 50000 horas, reduzindo significativamente os custos com manutenção. E se tratando de intervenções nos cruzamentos com semáforos para manutenção, quanto menos tempo o equipamento estiver desligado ou com defeito, muito melhor será a fluidez do trânsito.

Outro fator importante é que os módulos a *LED* são formados por vários elementos (unidades de *LED*), que apenas tem a sinalização de cor comprometida se um grande número dessas unidades queimarem. Já a lâmpada incandescente é composta por um único filamento que em caso de fusão ou avaria, deixa de transmitir imediatamente a informação de cor.

Com o crescimento constante da demanda de energia elétrica, fica cada vez mais necessária a busca por projetos que visam à autossuficiência energética, diminuindo assim, a sobrecarga no sistema elétrico nacional e alavancando o conceito de geração distribuída. Nesse aspecto, uma ideia bastante razoável é a **implantação** de semáforos alimentados por painéis solares fotovoltaicos.

1.1 PROBLEMA

O país conta com um grande número de semáforos em funcionamento ininterrupto e consumindo energia 24 horas por dia. Nesse tipo de sinalização, sempre foram utilizadas lâmpadas incandescentes, cuja utilização está sendo abolida para a inclusão de novas tecnologias mais econômicas. Para a redução de toda essa potência instalada, são necessárias medidas de eficiência energética nesses equipamentos. A mais usual medida de eficiência nos semáforos é a adoção de tecnologia *LED*. Porém existe também a alternativa de adoção da geração fotovoltaica, que requer maiores estudos.

Como as medidas de eficiência ainda são pontuais e a nível municipal, é um desafio a compilação detalhada das informações no contexto estadual e nacional, para avaliar a quantidade de energia elétrica que será economizada pelas concessionárias, quanto deverá ser gasto para a implantação e qual o impacto na manutenção.

1.2 JUSTIFICATIVA

Após a determinação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL de que as concessionárias de energia devem investir 0,5% da sua receita operacional líquida em programas de eficiência energética – lei nº 9.991/00, muitos projetos de eficiência voltados a semáforos vêm sendo realizados em conjunto com os órgãos municipais, que são os responsáveis pela administração dessa sinalização.

Nesses projetos estão contemplados a aquisição de módulos de iluminação a *LED* para substituírem as lâmpadas incandescentes existentes, mão-de-obra para execução dos trabalhos, medição elétrica e análise do consumo antes e depois da substituição e descarte apropriado dos materiais.

Existe também a alternativa de adoção de painéis fotovoltaicos como atividade estratégica na busca por autossuficiência energética e utilizá-los como forma alternativa de geração de energia para os semáforos.

Com milhares de semáforos já em funcionamento no país e o constante aumento desse número, tem-se a necessidade de quantificar o impacto do aumento de eficiência energética deles, em se tratando da quantidade de energia que os órgãos públicos deixariam de pagar, qual a potência instalada e quanto dessa carga poderia ser reduzida para a concessionária de energia, qual a consequência na manutenção e se é viável economicamente e confiável a operação desses equipamentos através de painéis solares fotovoltaicos.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é aplicar os conceitos e procedimentos de Eficiência Energética no sistema de sinalização viária, a partir do levantamento do impacto causado pela substituição de lâmpadas incandescentes por tecnologia *LED* em semáforos.

Nesse contexto, apresentam-se os objetivos específicos:

- pesquisar os princípios de funcionamento de um semáforo;

- pesquisar a respeito da tecnologia *LED* na iluminação;
- estudar o funcionamento e os componentes da estrutura de geração solar e o dimensionamento dos painéis solares fotovoltaicos;
- analisar o consumo de energia em semáforos operando com lâmpadas incandescentes e também com iluminação a *LED*;
- levantar os gastos para substituição das lâmpadas incandescentes por módulos a *LED*;
- coletar dados de manutenção antes e depois da medida de eficiência energética nos semáforos;
- Fazer o estudo da viabilidade de operação de um semáforo através de um sistema de geração de energia por painéis solares fotovoltaicos.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho foi desenvolvido em um primeiro momento, reunindo informações em livros, artigos técnicos e científicos, *sites* e contatos com especialistas da área, a respeito do funcionamento de um semáforo, o uso da tecnologia *LED* na iluminação e seu uso em semáforos agregando painel solar fotovoltaico.

Em seguida coletou-se os dados necessários para o estudo, tais como o consumo de energia dos semáforos com os dois sistemas de iluminação (incandescente e *LED*), gastos para o aumento de eficiência do sistema e comparativo dos números de manutenção.

Por fim foi realizado um estudo para verificar a viabilidade de operação dos semáforos utilizando painéis solares fotovoltaicos, com a simulação do funcionamento e obtenção dos resultados obtidos.

Assim sendo, este trabalho é composto por:

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO. Contextualização do tema junto a uma apresentação da proposta e objetivos do trabalho.

Capítulo 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA. Apresentação do estudo da forma de operação dos controladores semaforicos, da tecnologia *LED* na iluminação e do funcionamento dos painéis solares fotovoltaicos.

Capítulo 3 – DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS. Levantamento e análise do consumo de energia elétrica dos semáforos com as lâmpadas incandescentes e com *LED*, custos para a substituição dos sistemas e comparativos de manutenção antes e depois das trocas, estudo da viabilidade da utilização dos painéis solares fotovoltaicos e apresentação dos resultados da simulação.

Capítulo 4 – CONCLUSÕES. Comentários e avaliação dos resultados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo apresenta conceitos fundamentais para o embasamento da proposta do trabalho. Para execução de projetos de Eficiência Energética em semáforos, estão aqui destacados e evidenciados a operação dos equipamentos de controle de semáforos e demais componentes da estrutura, a tecnologia *LED* utilizada na iluminação e a adoção dos painéis solares fotovoltaicos.

Utilizou-se como referência para o desenvolvimento desse capítulo, pesquisas em livros, *sites*, fabricantes de equipamentos, conhecimento de especialistas e a experiência profissional dos autores.

2.1 O SEMÁFORO

Com o crescimento populacional e a modernização de vias no início do século XX, as cidades começaram a fervilhar. As ruas passaram a ser indicadores de progresso. Por isso, algumas chegavam a ter até 100 metros de largura. Muitas pessoas já podiam ter um carro motorizado, principalmente depois do surgimento do modelo Ford T. Só nos Estados Unidos, a frota de veículos saltou de 8 mil, em 1900, para 2,5 milhões, em 1908. Nas ruas americanas e de cidades como Londres, na Inglaterra, carros se misturavam a carruagens, bicicletas e, claro, pedestres, que passaram a sofrer cada vez mais. Logo começaram a surgir várias tentativas de controlar o trânsito.

O primeiro semáforo de que se tem notícia data de 1868. Foi instalado em Londres com luzes a gás para ser visto à noite. Ele tinha dois braços, movimentados por policiais: quando estavam na horizontal, indicavam que os veículos parassem; em 45 graus, eles deveriam seguir. Durou menos de um mês porque explodiu, ferindo o policial que o manjava.

Pouco depois, em Berlim, na Alemanha, foram construídas torres no meio de cruzamentos com cabines onde policiais ficavam sentados trocando as luzes o dia todo. Esse tipo de torre, que sofreu variações ao longo das décadas, foi bastante

usada em Nova York a partir de 1916. Desde 1912, sucessivas invenções ganharam notoriedade nos Estados Unidos, onde foram criados os princípios usados até hoje. O sinal de três cores é próprio para o cruzamento de vias foi inventado e instalado pelo policial William Potts, em 1920, em Detroit (LINARDI, 2013).

Hoje, com uma explosão no aumento da frota de veículos e, conseqüentemente com as ruas e avenidas cada vez mais saturadas, tem-se como resultado inúmeros conflitos nos cruzamentos. Aliado a essa necessidade de organização do trânsito, tem-se de garantir a segurança de motoristas, ciclistas e pedestres.

Para tanto, faz-se necessário a utilização de equipamentos de controle de tráfego, como é o caso da sinalização semafórica, ou simplesmente semáforo, que tem por objetivo otimizar, normatizar e controlar o direito de passagem de veículos e pedestres.

O semáforo é um conjunto de componentes que são instalados nas interseções viárias e que é responsável pelas sinalizações luminosas que indicam o direito de passagem de motoristas e pedestres.

Para fornecer essa sinalização luminosa, é necessária toda uma estrutura que seja capaz de gerar e levar a informação de cor do elemento eletrônico controlador à respectiva via. Os elementos que compõem essa estrutura são:

- Controlador semafórico: equipamento eletrônico ou eletromecânico responsável pela temporização e chaveamento das cores;
- Grupo focal ou porta-focos: elemento que abriga as fontes luminosas das cores vermelha, amarela e verde. Podem ser de vários modelos e são subdivididos em tipos veiculares e pedestres;
- Cabos: servem para a alimentação do controlador semafórico e para levar a informação de cor do controlador aos grupos focais. Podem ser instalados de forma aérea ou subterrânea;
- Tubulação: para proteção dos cabos subterrâneos. Como em qualquer instalação elétrica, ao longo da sua extensão são implantadas caixas de passagem para acesso aos cabos.
- Coluna: elemento vertical fixado ao solo que faz a sustentação do braço;

- Braço: elemento fixado horizontalmente na cabeça da coluna que permite a fixação do grupo focal.

Esses componentes estão ilustrados na Figura 1.

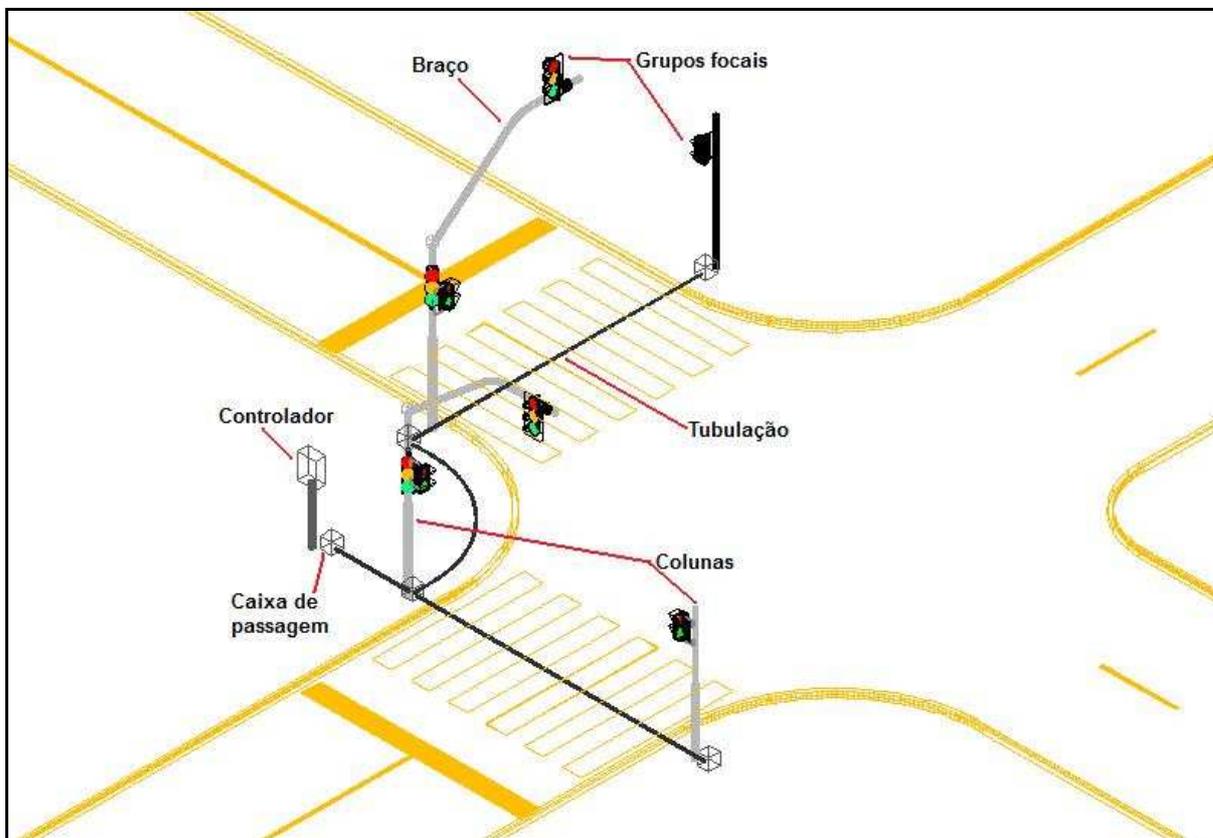


Figura 1 – Componentes da estrutura de um semáforo
 Fonte: autoria própria.

O uso de semáforos em interseções visa assegurar, basicamente, dois atributos operacionais: segurança e fluidez. Ao alternar o direito de uso da área da interseção, o semáforo pode contribuir para a redução do tempo perdido nela, e do número de determinados tipos de acidentes.

O projeto de operação de um semáforo consiste no desenvolvimento de planos semafóricos, que otimizem da melhor maneira possível o controle de veículos nos cruzamentos das vias. O plano semafórico de uma rede de semáforos é formado por quatro elementos: fase, ciclo, intervalo e *offset* ou defasagem.

- Fase – conjunto de um ou mais grupos focais que possui uma sequência própria de cores dentro da estrutura e está dedicado a uma via ou sentido de deslocamento;

- Ciclo – é a repetição de uma série de sequência de fases.
- Intervalo – é uma porção do ciclo durante a qual há indicação da cor do semáforo.
- *Offset* ou Defasagem – é o intervalo de tempo entre um ponto de referência definido para o sistema e o ponto de início do ciclo em cada semáforo que compõem o sistema, ou seja, é o tempo de retardo do início do sinal verde das interseções.

A Figura 2 ilustra a representação gráfica desses conceitos.

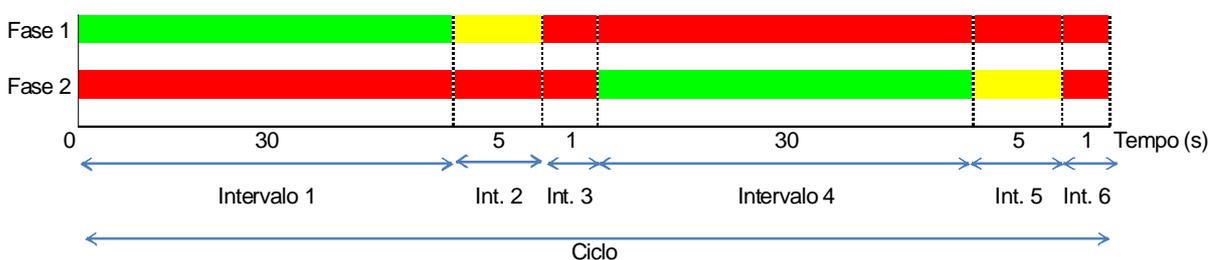


Figura 2 – Representação gráfica de um plano semafórico
Fonte: autoria própria.

2.1.1 Os Grupos Focais

Existem diversos modelos de grupos-focais utilizados para a sinalização de semáforos e sua função é basicamente abrigar os conjuntos luminosos que fornecem as informações de cores a motoristas e pedestres.

As cores vermelha, amarela e verde podem ser transmitidas através de uma lâmpada incandescente acomodada dentro de um invólucro com lentes das respectivas cores ou através de módulos a *LED*.

A Figura 3 ilustra os tipos de grupos focais.

O primeiro exemplo mostra um grupo focal do tipo T. Esse modelo é utilizado para a sinalização veicular. Nesse caso, existem 2 lâmpadas vermelhas, 1 amarela e 1 verde. Os objetivos da dupla sinalização do vermelho é proporcionar uma maior visibilidade para o sinal de “parar” e também garantir a transmissão da cor vermelha caso haja a queima de uma delas.



Figura 3 – Tipos de grupos focais
Fonte: Fokus Sinalização (2013).

O segundo mostra um grupo focal do tipo GT. Esse modelo também é utilizado para a sinalização veicular. Aqui, há também uma maior visibilidade da cor vermelha, porém com um único foco, de tamanho maior que os do verde e amarelo.

O terceiro modelo mostra um grupo focal do tipo I, também utilizado para a sinalização veicular. Nele, todas as cores possuem o foco do mesmo tamanho. É o mais usual atualmente.

Já o último modelo mostra um grupo focal de pedestres. É responsável pela sinalização das travessias de pedestres e apresenta somente duas cores: vermelho e verde. A transição entre o verde e o vermelho é feito pela sinalização de uma dessas cores em piscante.

2.1.2 Controlador Semafórico

O controlador semafórico é o equipamento que comanda a sequência das cores e determina o tempo de sinalização do semáforo através da comutação das suas lâmpadas. Podem ser do tipo eletromecânico em modelos mais simples e antigos, ou eletrônico em modelos atuais.

Atualmente utilizam-se controladores automáticos que operam de diferentes formas, dependendo do tipo de equipamento utilizado, e são classificados em três formas básicas: controlador de tempo fixo, semi-atuado e controlador atuado.

- Controlador semafórico de tempo fixo: é o controlador mais comum, opera seguindo uma programação pré determinada de tempo. A determinação destes parâmetros é feita em função das características e volumes médios do tráfego local. Uma vez programado, as mesmas ordens e durações de indicações de fase ocorrerão na interseção até que as configurações do controlador sejam reprogramados manualmente, ou outro de configuração de duração fixa seja selecionado (PIAI, 2009).

- Controlador semi-atuado: usa detectores em fases não coordenadas para oferecer um uso mais flexível do tempo verde. Um ciclo de comprimento fixo continua em vigor e o tempo de cada fase é que pode variar. A adição deste grau de liberdade na gestão de tempo de verde é obtido pelo emprego de detectores, que devem ser instalados e monitorados (PIAI, 2009).

- Controlador semafórico atuado pelo tráfego: operam em tempo real, ou seja, de acordo com as modificações ocorridas no tráfego de veículos ou pedestres no cruzamento. As informações do ambiente são captadas através de detectores ou botoeiras de cruzamento de pedestres e enviadas ao controlador que processa a informação e responde de acordo com a estratégia de controle ao qual foi programado. Sua finalidade é ajustar dinamicamente o controle do semáforo de acordo com as flutuações de tráfego que podem ocorrer no cruzamento (PIAI, 2009).

A Figura 4 mostra um controlador eletrônico programável de fabricação nacional.

Esse tipo de Controlador Eletrônico Programável possui CPU – *Central Processing Unit* com microprocessador e memórias, onde é possível, através de um programador, a configuração de diversos parâmetros de funcionamento, tais como sequência de cores, atuações através de botoeiras e sensores indutivos, detecção de queima de lâmpadas, planos de tráfego, entre outros. Pode atuar em qualquer uma das 3 formas descritas anteriormente: tempos fixos, semi-atuado e atuado.



Figura 4 – Controlador Eletrônico Programável
Fonte: Dataprom (2013).

2.2 TECNOLOGIA LED

Nas últimas décadas a tecnologia para geração de luz vem evoluindo intensamente, e nesse sentido o *LED* vem se destacando. O *LED* (*light emitter diode*) ou diodo emissor de luz foi inventado em 1962, por Nick Holonyak da General Electric, que operava na parte vermelha do espectro visível. Durante a década de 60 a 70 foram desenvolvidas as demais cores do espectro, tornando o *LED* um produto comercial.

O *LED* é um componente eletrônico formado por uma junção p-n de um semicondutor. Semicondutores são sólidos geralmente cristalinos com condutividade elétrica parcial, entre condutor e isolante, ao receberem injeção de elementos com carga positiva se tornam levemente positivos (lacunas, ausência de elétrons), ou recebendo injeção de elementos com carga negativa, se tornam levemente negativos (elétrons livres) (NASCIMENTO, 2012). Dessa maneira, sendo o semicondutor do tipo bipolar, temos um terminal negativo chamado catodo e outro positivo chamado anodo. Ao se aplicar uma corrente elétrica e forçar o fluxo de elétrons livres em direção as lacunas, a combinação lacuna-elétron, provoca liberação de energia (fótons), ou seja, a emissão de luz, conforme mostrado na Figura 5.

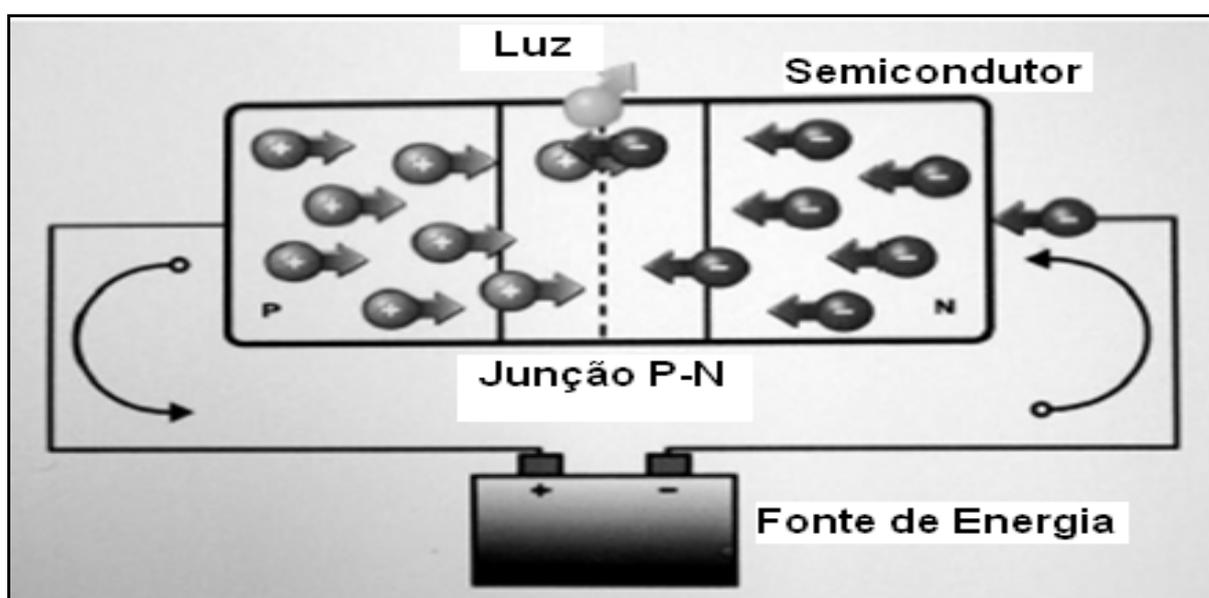


Figura 5 – Emissão de luz do *LED*
Fonte: Pinto (2008).

Diferentemente das lâmpadas convencionais, que utilizam filamentos metálicos e descargas em gases para transformar energia elétrica em luz visível, no *LED* esta transformação é feita na matéria, sendo assim chamada de transformação em estado sólido.

A luz emitida pelo *LED* é monocromática e depende da energia necessária para realizar a combinação lacuna-elétron para definir o tipo de cor, ou seja, materiais utilizados na fabricação do semicondutor diferentes possuem níveis de energia diferentes, tornando assim possível a variação de cores, como pode ser observado no diagrama de cromaticidade da *IESNA* (*Illuminating Engineering Society of North America*), na Figura 6 (b), onde podemos observar as três cores primárias X, Y e Z, onde o comprimento de onda da cor vermelha é aproximadamente 620 nm, verde 250 nm e azul 450nm. Podemos observar também que a região da cor branca é o ponto que une as cores primárias, como visto na Figura 6 (a).

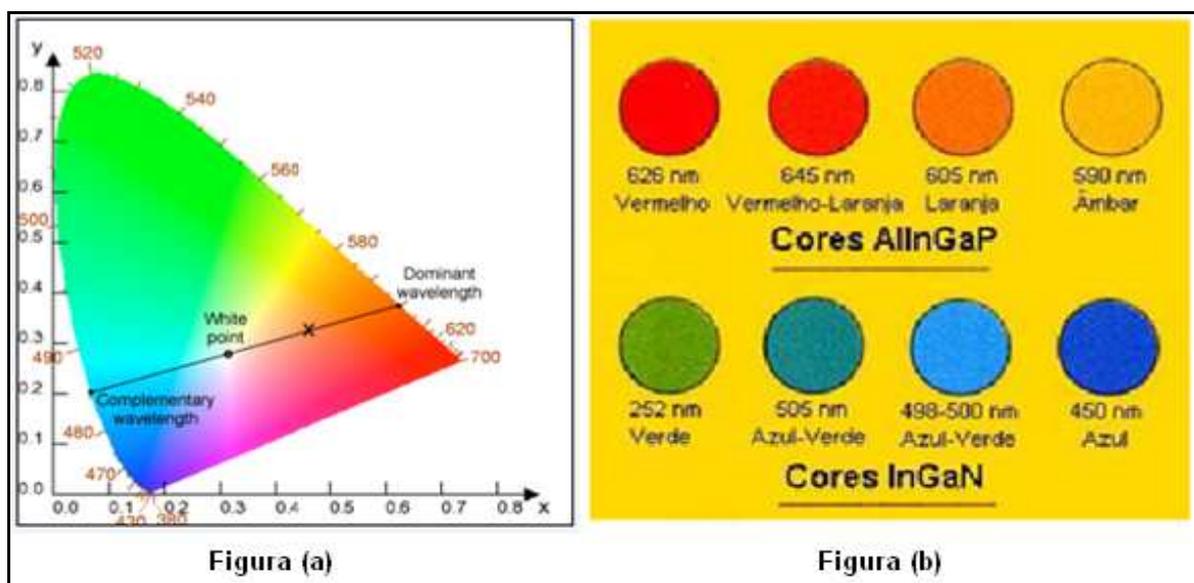


Figura 6 – Diagrama de cromaticidade e comprimento de onda utilizados no *LED*
 Fonte: IESNA (2000).

Na Figura 6 (a), a região localizada no interior do diagrama de cromaticidade, chamada de “gamut”, é o local onde há a junção das cores primárias, vermelho, verde e azul. No contorno do diagrama localizam-se os comprimentos de onda das cores presentes no espectro da luz visível, onde as cores são puras. A pureza de

uma cor esta relacionada a quantidade de luz branca nela presente, e quanto menor a quantidade de luz branca, mais pura será a cor.

Observa-se também na Figura 6 (a), na transição entre as três cores primárias, a presença das cores secundárias, a linha reta ligando dois pontos no diagrama engloba todas as combinações possíveis entre as duas cores correspondentes. O ponto no diagrama de cromaticidade onde há a fusão das cores primárias é onde se tem a cor branca. A linha que liga este ponto o contorno do diagrama contém todas as tonalidades de qualquer cor do espectro da luz visível.

2.2.1 O Uso da Tecnologia *LED* em Iluminação

Os sistemas de iluminação vêm passando por profundos avanços, e atualmente o *LED* vem cada vez mais sendo utilizado. Várias empresas adotaram o uso desta tecnologia e os profissionais estão procurando soluções em *LED* não só no entretenimento (TV, *show business*, etc), mas também na arquitetura.

No caso dos semáforos a alternativa adotada é um módulo focal constituído de placas de circuito impresso nas quais são alojados os *LED*, que podem variar de menos de uma dezena a centenas de *LED*.

Em se tratando de qualidade de sinalização em situações adversas o *LED* leva vantagens em relação a tecnologia convencional. Numa situação de sol “baixo” no final de tarde ou cedo pela manhã, de acordo com testes realizados pelo CALTRANS (Departamento de Transportes do Estado da Califórnia), seja em campo ou em laboratório, o índice de reflexão da luz do Sol, quando se encontra atrás do observador, é 50% mais baixo nos semáforos a *LED* do que na tecnologia convencional. Esta diferença permite, na prática, a eliminação da falsa impressão de uma lâmpada indevida estar ligada (efeito fantasma) que a maioria dos motoristas já deve ter observado em alguns semáforos. Além disso, a tecnologia a *LED* permite a alimentação dos sistemas semaforicos através de baterias, quando houver problemas no fornecimento de energia elétrica pela rede de distribuição, uma vez que o consumo desses equipamentos é bastante reduzido. (LIMA *et al*, 2009)

Entretanto, na busca pela Eficiência Energética com a adoção dessa tecnologia, na tônica da sustentabilidade e da ecologia, sua implantação enfrenta uma análise técnica, financeira e operacional, que podem ser vantajosas ou desfavoráveis no ato da implantação. Senão vejamos algumas dessas considerações:

Vantagens:

- Longa vida útil - Tempo de vida útil em média de 50 mil horas. Se ligado durante 8 horas por dia alcança até 17 anos de uso. Comparado, por exemplo, com uma lâmpada Fluorescente Compacta esse tempo chega no máximo há 10 mil horas (INMETRO).
- Economia - Este é um ponto que sempre é bastante explorado e dependerá de qual tipo de lâmpada e projeto de iluminação estamos comparando com uma luminária a *LED*. Normalmente é prevista uma economia de 10 a 30%.
- Baixa emissão de calor, reduzindo o consumo de ar condicionado - Como não emitem raio infravermelho, não geram calor, ou seja, a superfície iluminada por *LED* fica na temperatura ambiente.
- Fluxo Luminoso – Praticamente não altera o brilho com o seu uso. Uma Fluorescente Compacta chega a perder 84% do seu fluxo luminoso após 2 mil horas de uso (INMETRO).
- Resistente a vibrações e impactos - Como se trata de um componente sólido, suporta bem a vibração, variação de temperatura e uso pulsante constante sem problemas.
- Não tem materiais pesados como mercúrio, não poluindo o meio ambiente no descarte.
- Baixa tensão o torna mais seguro em algumas aplicações - Por trabalhar com baixa tensão pode ser usado em ambiente úmido ou na água sem risco de choques. Luminárias de uso residencial podem ser instaladas em lugares baixos sem risco de queimadura por contato.

Desvantagens:

- Investimento e retorno em curto prazo – Se compararmos de forma imediatista certamente o preço de uma luminária de *LED* pode desmotivar a sua compra. Porém, o preço desta tecnologia vem caindo a cada dia e já é possível encontrar uma redução de até 50% no preço de uma luminária em alguns fabricantes.
- Mão de obra especializada – O uso do *LED* requer cuidados para que suas vantagens sejam garantidas.
- Dependência de componentes importados – Apesar de já contarmos no Brasil com várias empresas que fabricam luminárias com *LED*, ainda dependemos da importação do componente.
- Adaptação de luminárias já existentes – Nem sempre a substituição imediata de uma lâmpada convencional por uma solução de *LED* é direta.

O emprego do *LED* na iluminação pública está cada vez mais comum no país. Na cidade de São Paulo, por exemplo, inúmeras ruas receberam iluminação *LED*, Rua Amauri, do Arouche e Maria Antônia. Além disso, essa tecnologia também foi utilizada no Parque do Ibirapuera, Praça Vilaboim e no túnel Ayrton Senna. Segundo Marcos de Oliveira Santos, gerente de marketing da OSRAM do Brasil, na Rua do Arouche a substituição de 10 (dez) luminárias com lâmpadas vapor de sódio por luminárias *LED*, resultou numa economia de energia de aproximadamente 40%.



Figura 7 – Rua Avanhandava antes (a) e depois (b) da substituição das lâmpadas sódio por *LED*

Fonte: Instituto Ressoar (2013).

Na Figura 7, Rua Avanhandava, como exemplo, foram substituídas 14 (quatorze) luminárias vapor de sódio por LED branco, resultando numa economia de até 46%, segundo o diretor de desenvolvimento comercial da GE Iluminação no Brasil (Instituto Ressoar, 2013).

Na Figura 8, mais um exemplo da eficiência luminosa do *LED*, imagem do município de Reguengos de Monsaraz em Portugal, onde foram substituídas 255 luminárias com lâmpadas vapor de sódio por luminárias *LED* branco. Este projeto foi um dos finalistas em dezembro de 2012 do premio Aurorália, que é organizado pela empresa Schröder Iluminação SA (Sul Informação, 2013).



Figura 8 – Comparativo de iluminação pública antes (a) e depois (b) da instalação de *LED*
Fonte: Sul Informação (2013).

Na região metropolitana de Curitiba - PR, em São José dos Pinhais está em andamento um projeto de revitalização da Rua Joaquim Nabuco, paralela a Avenida das Torres. Atualmente estão instaladas 78 luminárias com lâmpadas vapor de sódio que deveram ser substituídas por luminárias de *LED* branco, gerando uma economia de energia de aproximadamente 44%, segundo Hécio de Barros, diretor do departamento de iluminação pública do município de São José dos Pinhais – PR, as

obras de revitalização devem ter início em outubro de 2013 e serem finalizadas em janeiro de 2014.

2.3 GERADOR FOTOVOLTAICO

Em 1839 Edmond Becquerel observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico, ao mergulhar placas metálicas de prata ou platina num eletrólito, percebeu uma pequena diferença de potencial quando as placas eram expostas a luz. Cerca de cinquenta anos depois, Hertz ao fazer experiências em células eletrolíticas, observou que quando expostas a incidência de luz ultravioleta, provocava-se uma ruptura do ar com uma menor diferença de potencial entre seus eletrodos e deduziu então que metais emitiam elétrons pela ação da luz (CABREZIO, 2008).

Em 1873, W. Smith observou capacidade de condução do selênio pelo efeito da luz. A partir desse descobrimento chamado fotocondutividade, Siemens projetou um fotômetro, dando ênfase ao fenômeno. Sete anos após, com o selênio Fritts construiu a primeira célula fotovoltaica, com aproximadamente 1% de eficiência (DEIVIDSON; KOMP, 1995).

Apenas em 1954 foi apresentada a primeira célula fotovoltaica, que foi desenvolvida meio ano antes pelos cientistas da Bell Labs (Calvin Fuller e Gerald Pearson), tinha aproximadamente dois centímetros quadrados de área e eficiência de 6%, gerando aproximadamente 5 mW de potência. Por volta de 1956 as células fotovoltaicas começaram a ser produzidas industrialmente aproveitando novas soluções em microeletrônica e impulsionadas pela necessidade de se fornecer energia elétrica para regiões remotas (VALLÉRA, 2006).

As células fotoelétricas são feitas de material semicondutor (silício dopado), ou seja, é um material com características condutoras e isolantes. O silício na forma pura é um dos materiais mais abundantes da crosta terrestre, pois é obtido da areia através de métodos adequados. O silício puro não possui elétrons livres, necessitando ser alterado quimicamente para adquirir as características de semicondutor, este processo denomina-se dopagem. Através do processo de

dopagem é adicionado Fósforo e Boro ao silício, obtendo-se assim um material com portadores de carga negativa (silício tipo N) e portadores de carga positiva (silício tipo P), transformando-o em semicondutor (NASCIMENTO, 2004).

Diferentemente da maioria dos semicondutores, a célula utilizada na fabricação de equipamentos fotovoltaicos não utiliza a estrutura normal do silício, como no LED e diodos, para aumentar a condutividade elétrica do material é inserida uma fina camada de óxidos transparentes (SEGUEL, 2009).

No silício a irradiação solar é convertida em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico, que consiste na geração de uma diferença de potencial elétrico através da radiação. O efeito fotovoltaico ocorre quando fótons (energia que o sol carrega) incidem sobre átomos (no caso átomos de silício), provocando a emissão de elétrons, gerando corrente elétrica. Este processo não depende da quantidade de calor, pelo contrário, o rendimento da célula solar cai quando sua temperatura aumenta.

A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, como observado na Tabela 1, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25 a 30%.

Tabela 1 – Eficiência de conversão e custo de células solares.

Tipo de célula	Eficiência (%)			Custo (US\$/Wp)
	Teórica	Laboratório	Comercial	
Silício de cristal simples	30,0	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício concentrado	27,0	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício policristalino	25,0	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício amorfo 17,0	13,0	4 a 7	3 a 5	-

Fonte: Green *et al* (2000).

Como cada célula produz uma corrente contínua de intensidade relativamente fraca, é necessário o agrupamento de células para se obter uma corrente adequada, formando assim, após o encapsulamento, um conjunto denominado módulo fotovoltaico, como se observa na Figura 9.

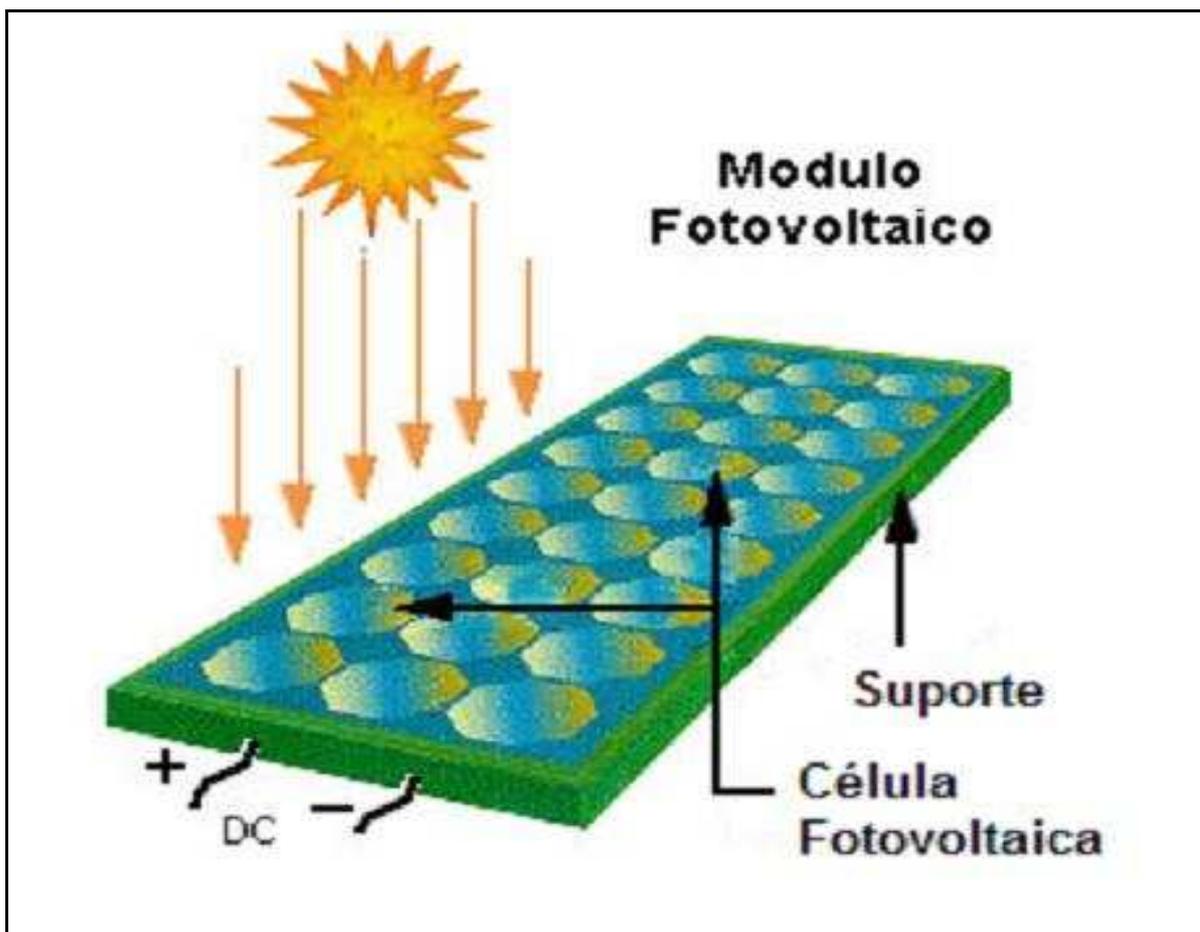


Figura 9 – Módulo fotovoltaico
Fonte: Adaptado da Free Life (2013).

O agrupamento de módulos, colocados numa mesma estrutura de suporte, forma um painel. Quando incide luz solar com energia suficiente sobre estas estruturas, produz-se movimentação de elétrons livres, obtendo-se assim energia elétrica utilizável.

A energia gerada pelos painéis é armazenada em bancos de bateria, para que seja usada em período de baixa radiação e durante a noite, além disso, é necessário mais alguns equipamentos para utilização do sistema fotovoltaico, como mostra a Figura 10 do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito).

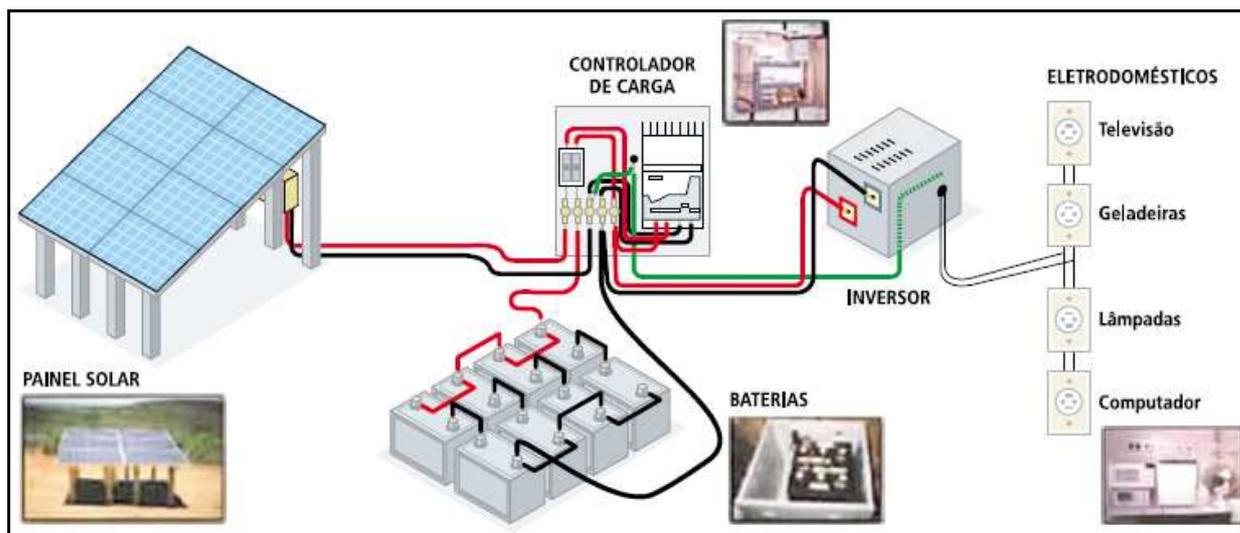


Figura 10 – Componentes do Sistema Fotovoltaico
Fonte: CRESESB (2000).

Componentes do sistema:

- Módulo fotovoltaico: conjunto de células de silício, que geram tensões e correntes que são condicionadas às ligações em paralelo ou em série, das células. A energia proveniente do painel é em corrente contínua (DC) e pode alimentar diretamente equipamentos que utilizam essa propriedade e carregar baterias, para conseguir corrente alternada, se faz uso de inversores de corrente.
- Inversor: utilizado na conversão da energia para corrente alternada (AC), é de suma importância a especificação correta da capacidade do inversor de acordo com a demanda a ser utilizada, assim como a forma de onda a ser gerada, que pode ser quadrada, semi-senoidal ou senoidal.
- Controladores de carga: são dispositivos utilizados para evitar sobrecarga e sobre descargas das baterias, além disso, possuem funções para monitor o sistema, propiciando segurança aos equipamentos e maior vida útil às baterias.
- Banco de baterias: utilizados para armazenar a energia produzida durante o dia pelo painel fotovoltaico, para se obter o melhor retorno é recomendável a utilização de baterias fabricadas com características que permitem descarga profunda, aumentando assim a vida útil.

Para o dimensionamento do modulo solar é necessário inicialmente o levantamento de algumas características meteorológicas do local onde serão instalados os equipamentos, além disso, é necessária a determinação das cargas dos equipamentos a serem supridos pela energia. Com o consumo total dos equipamentos (Watts) e o numero de horas que o sistema utilizará a energia por dia, se obtém o consumo diário de energia. Além dos dados acima mencionados, outro dado importante é o nível de incidência de irradiação solar na localidade, estes valores podem ser adquiridos no banco de dados do CEPEL, que fornece dados para três ângulos diferentes que podem ser instalados os painéis (ANEEL, 2011).

Dados para o dimensionamento:

- Tensão aplicada e tipo de cargas (AC ou DC);
- Potência exigida pelo total de cargas;
- Perfil de utilização da carga;
- Localização geográfica do sistema;
- Autonomia desejada.

A escolha do módulo solar é feita através de sua capacidade de geração em Ah (Ampère hora), que é a corrente máxima obtida ou consumida em uma hora. Com o valor da demanda (kWh), dividida pelo valor da tensão do sistema (ex.:12 ou 24 V) se obterá a corrente/dia necessária. O valor encontrado deve ser dividido pelo tempo médio de insolação, como pode ser observado no mapa do atlas de irradiação solar no Brasil, Figura 11.

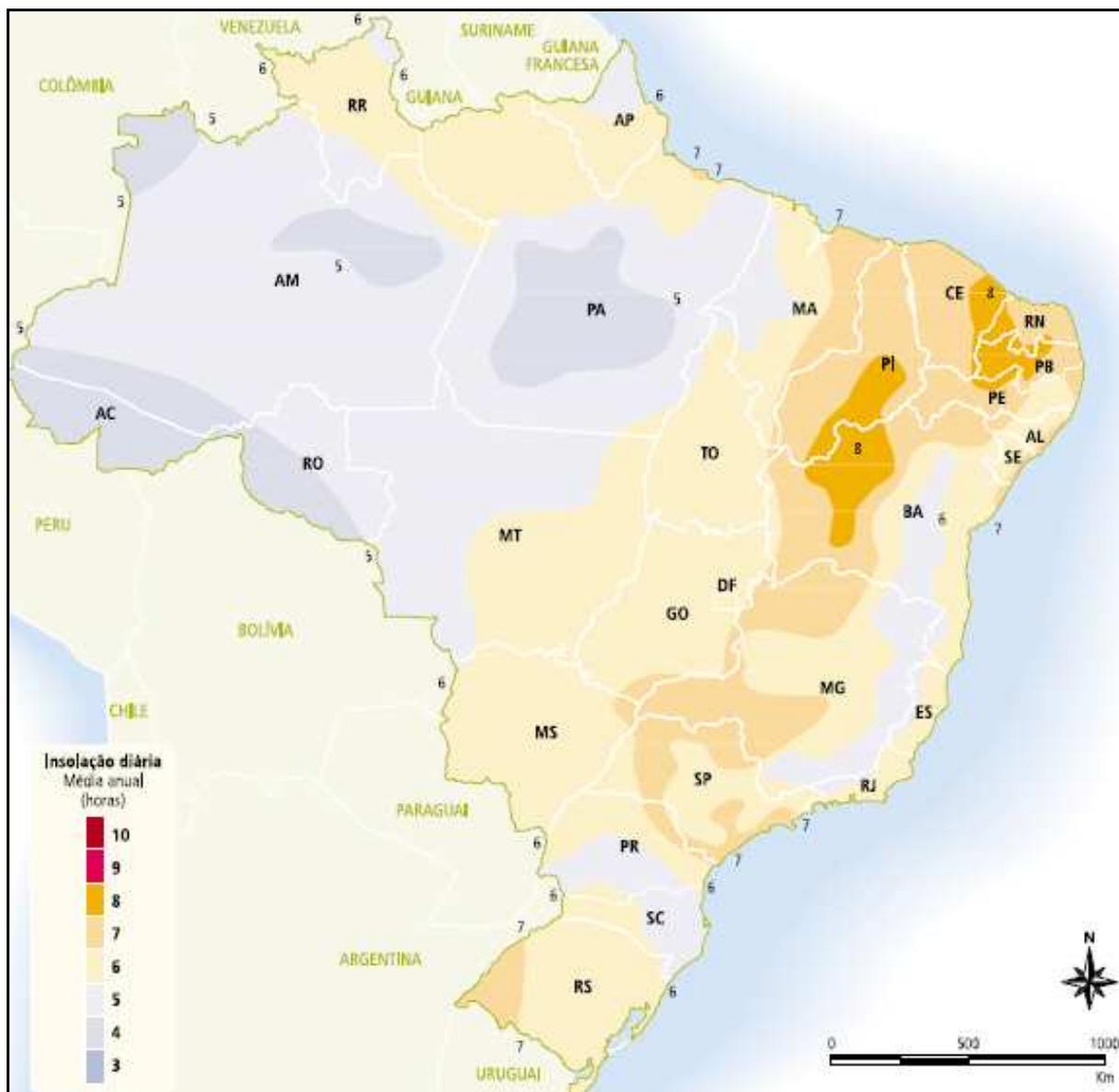


Figura 11 – Média Anual de Insolação no Brasil (horas)
Fonte: ANEEL (2000).

De acordo com o mapa, grande parte do país possui insolação diária média de 6 horas, inclusive a região sul. Na região nordeste a média é um pouco maior, variando de 7 a 8 horas diárias. Na região norte e em alguns pontos do sul e sudeste a média cai para 5 horas diárias de insolação.

Com o valor em Ah encontrado, é escolhido o conjunto de módulos que se iguala ou supera esse valor no catálogo dos fabricantes, mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de espessura de condutor para sistema corrente contínua - CC 12V.

Bitola (mm ²)	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95
Corrente (A)	Distância (m)										
1	32	51	81	130	205	325	517	652	822	1308	1650
2	16	26	40	64	102	163	259	326	411	654	825
4	8	13	20	33	51	81	129	163	205	327	412
6	5	8	14	22	34	54	86	109	137	218	275
8	4	6	10	16	26	41	65	82	103	164	206
10	3	5	8	13	20	33	52	65	82	131	165
15	2	3	5	8	14	22	34	43	55	87	110
20	-	2	4	6	10	16	26	33	41	65	83
25	-	-	3	5	8	13	21	26	33	52	66
30	-	-	2	4	7	11	17	22	27	44	55
35	-	-	-	3	6	9	15	19	23	37	47
40	-	-	-	-	5	8	13	16	20	33	41
45	-	-	-	-	4	7	11	14	18	29	37
50	-	-	-	-	3	6	10	13	17	26	33

Fonte: Compact Cia (2013).

2.3.1 Dimensionamento do Banco de Baterias

Como o painel fotovoltaico depende das condições atmosféricas, a utilização de equipamento que garanta o fornecimento de energia à carga durante períodos com falta de insolação e a noite é indispensável.

No projeto do banco de baterias devem ser considerados dois parâmetros, a autonomia do sistema, que é o número de dias que a bateria pode suprir a demanda de energia sem a necessidade de carga pelos painéis fotovoltaicos, e a profundidade de descarga, que é o fator que determina a sua vida útil, devido ao número de ciclos de carga e descarga.

Por exemplo, um conjunto com 4 lâmpadas *LED* de potência 7W cada, utilizada 12 h/dia consome 336 Wh/dia.

Assim o consumo diário de corrente da carga é:

$$I_{dia} = \frac{336 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 28 \text{ Ah}$$

Adotando a profundidade de descarta da bateria como 30%, o consumo total das baterias fica:

$$I_{total} = \frac{\text{Consumo (Ah)}}{\text{Profundidade de descarga}} = \frac{28 \text{ Ah}}{0,3} = 93,33 \text{ Ah}$$

Portanto, necessita um banco de baterias de 100 Ah de capacidade e tensão nominal de 12 V.

3 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Inicialmente serão apresentados os dados de consumo de um grupo focal de semáforo **tipo I** que utiliza lâmpadas incandescentes, como referência para os cálculos que se seguem.

A Tabela 3 apresenta o consumo calculado diário e anual, em kWh, de um grupo focal do **tipo I** com lâmpadas incandescentes com potência unitária de 100W.

Tabela 3 – Consumo de um grupo focal tipo “I” com lâmpadas incandescentes.

Potência (W)	Cor	Consumo mensal (kWh)	Consumo anual (kWh)
100	Vermelha	34,2	416,1
100	Amarela	3,6	43,8
100	Verde	34,2	416,1
TOTAL		72	876

Fonte: autoria própria.

A Tabela 4 apresenta o consumo calculado diário e anual, em kWh, de um grupo focal de pedestres com lâmpadas incandescentes com potência unitária de 100W. Nesse caso não há a cor amarela.

Tabela 4 – Consumo de um grupo focal de pedestres com lâmpadas incandescentes.

Potência (W)	Cor	Consumo mensal (kWh)	Consumo anual (kWh)
100	Vermelha	36	438
100	Verde	36	438
TOTAL		72	876

Fonte: autoria própria.

Para efeito de exemplo, estão sendo considerados que os tempos de acendimento são igualmente distribuídos entre verde e vermelho, o que nem sempre acontece. Porém, como sempre haverá uma das lâmpadas acesas esse tempo acaba por não influenciar no consumo.

Como exemplo 1, será arbitrado uma interseção semaforica bastante comum, com duas vias veiculares e travessia para pedestres em ambas as ruas.

Dessa forma, para cada via veicular tem-se 2 grupos focais (principal e auxiliar), um em cada lado da rua, para cada travessia de pedestres, totalizando 8 grupos focais com lâmpadas incandescentes de 100W.

A Tabela 5 mostra os valores de consumo de energia para esse exemplo.

Tabela 5 – Consumo do exemplo 1 com lâmpadas incandescentes.

Total de grupos focais	Potência total (W)	Consumo diário (kWh)	Consumo anual (kWh)
8	800	19,2	7008

Fonte: autoria própria.

Conseqüentemente, conforme a complexidade da interseção haverá mais grupos focais, acrescentando mais potência e com isso aumentando o consumo.

Agora como exemplo 2, existe na cidade de Curitiba, na interseção das ruas Afonso Camargo e Sete de Setembro com a rua Mariano Torres, um semáforo que dispõe de 40 grupos focais. Essa é considerada a estrutura mais complexa da cidade. Seu consumo mensal chega a 2.880kWh.

A Tabela 6 mostra os valores de consumo para esse exemplo.

Tabela 6 – Valores de consumo do exemplo 2 com lâmpadas incandescentes.

Total de grupos focais	Potência total (W)	Consumo diário (kWh)	Consumo anual (kWh)
40	4.000	96	35.040

Fonte: autoria própria.

Curitiba possui atualmente 1060 semáforos instalados e em funcionamento, de acordo com a URBS – Urbanização de Curitiba, responsável pela administração

do trânsito na cidade. Operando com lâmpadas incandescentes de 100W e consumo médio mensal de 700kWh por semáforo¹, são 742MWh de energia consumida no mês, custando aproximadamente R\$ 270.533,00 para a prefeitura, considerando a tarifa atual de abril de 2013 de R\$ 0,3646 por kWh do subgrupo tarifário B3 da COPEL. Esse número de semáforos corresponde a uma demanda de 3.032kW no horário de ponta.

Estima-se que em todo o estado do Paraná existam cerca de 2000 semáforos em funcionamento, conforme dados obtidos nas principais prefeituras do estado. Se todos estiverem com lâmpadas de 100W de potência e o consumo médio em torno dos 700kWh por mês, teremos o total de 1.400MWh de energia fornecidos pela COPEL para sinalização semafórica, num total de R\$ 510.440,00 gastos pelos cofres públicos em um mês. A demanda no horário de ponta chega a 5.927kW.

Extrapolando agora para nível nacional, com 32.478 semáforos, segundo relatório da ANTP – Agência Nacional de Transportes Públicos de dezembro de 2012, mantendo a média de consumo por equipamento, esse número chega aos incríveis 22.734,6MWh mensais, com gastos que superam R\$ 8.289.000,00. A demanda estimada no horário de ponta é de 96.259kW.

Igualmente no caso das lâmpadas incandescentes, serão apresentados os dados de consumo de um grupo focal de semáforo que utiliza módulos *LED*.

A Tabela 7 apresenta o consumo calculado diário e anual, em kWh, de um grupo focal do **tipo I** com módulos *LED* de potência unitária de 10W.

Tabela 7 – Consumo de um grupo focal tipo “I” com *LED*.

Potência (W)	Cor	Consumo mensal (kWh)	Consumo anual (kWh)
10	Vermelha	3,4	41,6
10	Amarela	0,36	4,3
10	Verde	3,4	41,6
TOTAL		7,2	87,6

Fonte: autoria própria.

¹ A média de 700kWh mensal por semáforo foi obtido com base na conta de energia elétrica da URBS, onde se tem o total de kWh mensal dividido pelo número de semáforos.

A Tabela 8 apresenta o consumo calculado diário e anual, em kWh, de um grupo focal de pedestres com módulos *LED* de potência unitária de 10W.

Tabela 8 – Consumo de um grupo focal de pedestres com *LED*.

Potência (W)	Cor	Consumo mensal (kWh)	Consumo anual (kWh)
10	Vermelha	3,6	43,8
10	Verde	3,6	43,8
TOTAL		7,2	87,6

Fonte: autoria própria.

Voltando ao exemplo 1, o mesmo semáforo utilizando iluminação a *LED* apresenta os seguintes valores, mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores de consumo do exemplo 1 com *LED*.

Total de grupos focais	Potência total (W)	Consumo diário (kWh)	Consumo anual (kWh)
8	80	1,92	700,8

Fonte: autoria própria.

Já no exemplo 2 temos o consumo mensal reduzido para 288kWh e anual para 3.504kWh, contra os 2.880kWh mensais da lâmpada incandescente. Pode-se observar que o consumo anual utilizando a tecnologia *LED* é quase o valor mensal do consumo da lâmpada incandescente.

A Tabela 10 mostra os valores de consumo para esse exemplo.

Tabela 10 – Valores de consumo do exemplo 2 com *LED*.

Total de grupos focais	Potência total (W)	Consumo diário (kWh)	Consumo anual (kWh)
40	400	9,6	3.504

Fonte: autoria própria.

Em Curitiba, se todos os 1060 semáforos utilizassem sinalização a *LED*, o consumo mensal seria de 74.200kWh, custando R\$ 27.053,00 por mês. Como o

gasto com a iluminação incandescente é de R\$ 270.530,00, a quantia economizada por mês seria de R\$ 243.477,00. A demanda na ponta seria reduzida para 303,2kW.

O estado do Paraná, com seus 2000 semáforos, caso todos eles operando com a tecnologia *LED*, teríamos 140.000kWh de energia utilizada todo mês, com um gasto de R\$ 51.044,00. Comparado com o gasto de consumo das lâmpadas incandescentes, a economia mensal seria de R\$ 459.396,00. A demanda na ponta seria reduzida a 592,7kW.

Em todo o país, a energia consumida mensalmente seria reduzida para 2.273MWh, com o custo de pouco mais de 828 mil reais e gerando uma economia de R\$ 7.460.000,00 por mês. A demanda na ponta seria reduzida para 9.625,9kW.

Na Tabela 11, estão resumidas as informações mencionadas relativas às economias.

Tabela 11 – Resumo dos dados de consumo dos semáforos.

	Semáforos	Energia anual economizada (MWh)	Economia anual (R\$)	Redução demanda ponta (kW)
Curitiba	1060	8.014	2,7 mi	2.728,8
Paraná	2000	15.120	5,4 mi	5.334,3
Brasil	32.478	245.500	89,1 mi	86.633,1

Fonte: autoria própria.

3.1 SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS INCANDESCENTES POR *LED*

A substituição das lâmpadas incandescentes pelos módulos *LED* é relativamente simples. O serviço é executado em campo, sem a necessidade de retirar o grupo focal do lugar.

São removidos do grupo focal a lente frontal, o refletor e o bocal com a lâmpada incandescente. Isso para cada uma das cores. É então colocado no grupo focal o módulo *LED* respectivo de cada cor. A Figura 12 (a) mostra a estrutura

interna do grupo focal com lâmpada. A Figura 12 (b) mostra um grupo focal já com o módulo *LED* vermelho instalado.

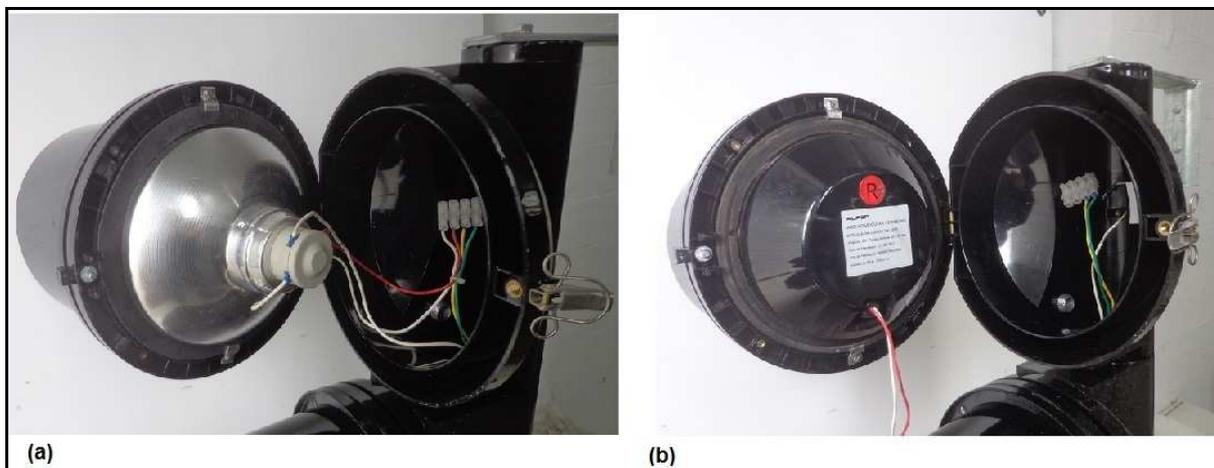


Figura 12 – (a) grupo focal com lâmpadas incandescentes e (b) grupo focal com *LED*
Fonte: autoria própria.

A Figura 13 (a) mostra o conjunto refletor/lente, bocal e lâmpada já fora do grupo focal e (b) o módulo *LED* sem a lente frontal.

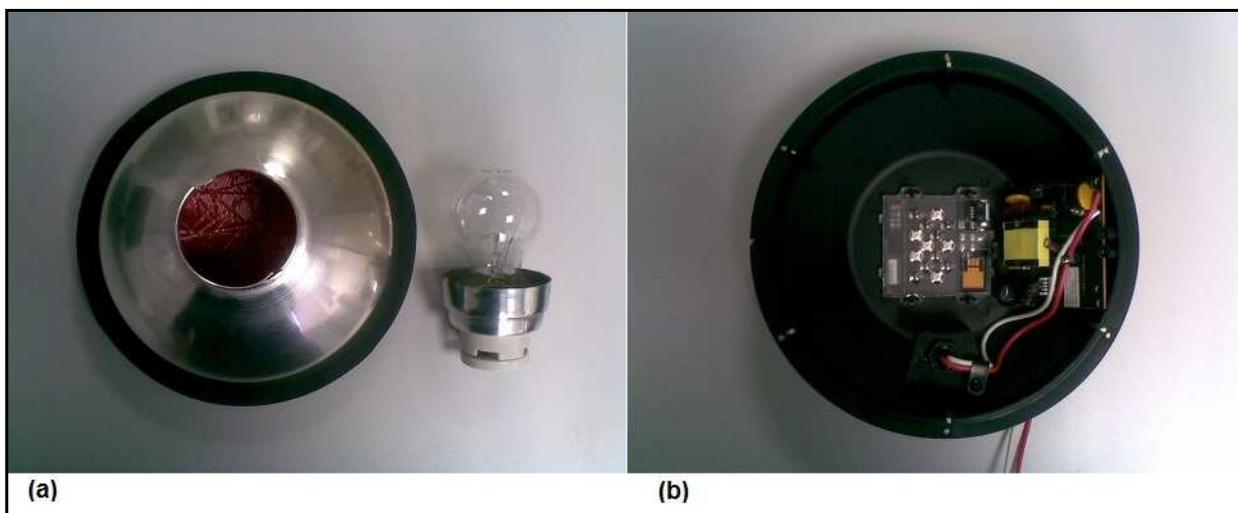


Figura 13 – (a) Conjunto refletor, lente, bocal e lâmpada e (b) interior do módulo *LED*
Fonte: autoria própria.

O resultado dessa substituição é visivelmente percebido na prática. O nível de iluminação do semáforo utilizando *LED* é superior àquele que utiliza lâmpada incandescente. A Figura 14 a seguir ilustra essa diferença. A esquerda tem-se um

semáforo utilizando de lâmpadas incandescentes e a direita um semáforo utilizando *LED*, ambos registrados no período noturno.



Figura 14 – Aspecto visual de semáforo com iluminação lâmpada incandescente (a) e *LED* (b)
Fonte: autoria própria.

3.2 O IMPACTO NA MANUTENÇÃO

Além da redução do consumo de energia elétrica, outra grande vantagem dos módulos a *LED* é o tempo de vida útil média estar de 50.000 a 100.000 horas, contra 2000 horas a 10000 horas das lâmpadas incandescentes. Isso representa um valor de durabilidade de até 50 vezes maior.

Existem fabricantes como a DIALIGHT que chegam a garantir 100.000 horas de funcionamento dos módulos *LED*.

Essa maior durabilidade reflete diretamente na manutenção. Haverá menos queimas, reduzindo os custos de mão-de-obra e deslocamento de equipes.

Para se ter uma idéia, na cidade de Curitiba, antes da retirada das lâmpadas incandescentes eram trocadas em média 660 lâmpadas por mês, ou seja, 2,2% do total instalado. Após a substituição por *LED*, essa troca caiu para uma média de 30 módulos *LED* por mês, 0,099% do total instalado, sendo que estão no prazo de garantia do fabricante, não representando gasto algum ao município.

Os números referentes à manutenção da cidade de Curitiba foram obtidos junto a URBS, que administra os semáforos. A Tabela 12 mostra o histórico de manutenção antes e depois do processo de troca.

Tabela 12 – Histórico de manutenção antes e depois da troca.

ANTES		DEPOIS	
Mês	Manutenção lâmpadas trocadas	Mês	Manutenção LED trocados
Janeiro de 2011	700	Maio de 2012	15
Fevereiro de 2011	803	Junho de 2012	15
Março de 2011	564	Julho de 2012	19
Abril de 2011	715	Agosto de 2012	27
Maio de 2011	618	Setembro de 2012	61
Junho de 2011	564	Outubro de 2012	43
MÉDIA	660		30

Fonte: URBS (2013).

Antes da substituição das lâmpadas incandescentes, a média de substituição dessas lâmpadas era de 660 unidades por mês. Após a substituição por *LED*, a média de substituição caiu para 30 unidades por mês.

Adotando como base os mesmos percentuais de troca e fazendo o levantamento do número aproximado de pontos, agora os dados serão extrapolados para o estado do Paraná. Os resultados estão na Tabela 13.

Tabela 13 – Comparativo de manutenção no estado do Paraná.

Total de pontos	Troca de lâmpadas incandescentes / mês	Troca de módulos LED / mês
59.277	1.185	59

Fonte: autoria própria.

Ter-se-ia no Estado do Paraná uma redução de trocas de 1.185 unidades de lâmpadas/mês para cerca de 59 trocas de módulos *LED*/mês.

Agora, na Tabela 14, são mostrados os resultados a nível nacional.

Tabela 14 – Comparativo de manutenção em todo o Brasil.

Total de pontos	Troca de lâmpadas incandescentes / mês	Troca de módulos LED / mês
962.593	19.252	953

Fonte: autoria própria.

Portanto, em todo o Brasil, haveria uma redução de trocas de 19.252 unidades de lâmpadas/mês para 953 trocas de módulos *LED*/mês.

3.3 ESTUDOS ECONÔMICOS PARA A IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA *LED*

Conforme foi mostrado nos tópicos anteriores, o uso de iluminação a *LED* na sinalização semafórica é imensamente vantajoso se comparado às lâmpadas incandescentes no que diz respeito à economia de energia e redução de despesas com custos operacionais. O que se faz necessário levantar agora são os custos para a implantação dessa tecnologia.

Os gastos abrangem a aquisição dos módulos a *LED*, mão-de-obra para substituição dos equipamentos, descarte das lâmpadas incandescentes e também serviços de medição e verificação dos lotes amostra.

Com base nesses valores se pode elaborar o fluxo de caixa da operação, obtendo assim o tempo de retorno do investimento. É necessário também nos projetos de Eficiência Energética o cálculo da Relação Custo Benefício - RCB, que servirá como base para aprovação ou não do projeto, de acordo com o manual do PEE – Programa de Eficiência Energética da ANEEL.

Os valores utilizados que servirão como subsídio nos próximos cálculos são os valores praticados no projeto de eficiência energética dos semáforos da cidade de Curitiba. Os valores do módulo *LED*, serviço de troca e descarte são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Custo unitário de implantação em Curitiba-PR.

Custo unitário do módulo LED (R\$)	Serviço de troca por unidade (R\$)	Descarte da unidade da lâmpada (R\$)
244,50	47,00	0,49

Fonte: autoria própria.

Desconsiderando aqui os custos com medição e verificação.

Logo, para a completa substituição das lâmpadas incandescentes por módulos *LED* na cidade de Curitiba, teremos os custos mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 – Custo total de implantação em Curitiba-PR.

Total de pontos a serem trocados	Custo total dos módulos LED (R\$)	Serviço de troca (R\$)	Descarte (R\$)	Custo total (R\$)
30.320	7.413.240,00	1.425.040,00	14.856,80	8.853.136,80

Fonte: autoria própria.

Com as informações das economias geradas na fatura de energia elétrica e com os gastos na implantação da tecnologia, podemos elaborar o fluxo de caixa da operação e obter o tempo de retorno do investimento – *payback* - do projeto, mostrado na Tabela 17.

Tabela 17 – Fluxo de caixa para o projeto de Curitiba-PR.

Investimento inicial (R\$)	Economia mensal (R\$)	<i>Payback</i> simples (meses)
8.853.136,80	243.477,00	36

Fonte: autoria própria.

Como prova final da viabilidade, tem-se o cálculo do RCB. De acordo com o manual do PEE para avaliação do projeto, somente é aprovado se o RCB for menor que 0,8. Nesse caso, somente considerando os gastos com aquisição dos módulos *LED*, serviços de instalação e descarte de materiais, o RCB é de 0,35. É claro que também devem estar inclusos despesas com medição e verificação e eventuais alterações de hardware que tenham que ser feitas nos equipamentos, que não foram incluídas nesse estudo.

Para o projeto de Eficiência Energética nos semáforos de todo o Estado do Paraná, teremos os seguintes custos, mostrados na Tabela 18.

Tabela 18 – Custo total de implantação no Estado do Paraná.

Total de pontos a serem trocados	Custo total dos módulos LED (R\$)	Serviço de troca (R\$)	Descarte (R\$)	Custo total (R\$)
59.277	14.493.226,50	2.786.019,00	29.045,73	17.308.291,23

Fonte: autoria própria.

Com isso é obtido o tempo de retorno do investimento – *payback* - do projeto, mostrado na Tabela 19.

Tabela 19 – Fluxo de caixa para o projeto no estado do Paraná.

Investimento inicial (R\$)	Economia mensal (R\$)	<i>Payback</i> simples (meses)
17.308.291,23	459.396,00	37

Fonte: autoria própria.

Extrapolando linearmente esses valores para uma realidade nacional, teremos os custos mostrados na Tabela 20.

Tabela 20 – Custo total de implantação no Brasil.

Total de pontos a serem trocados	Custo total dos módulos LED (R\$)	Serviço de troca (R\$)	Descarte (R\$)	Custo total (R\$)
962.593	235.353.988,50	45.241.781,00	471.670,57	281.067.440,10

Fonte: autoria própria.

O tempo de retorno do investimento, *payback*, do projeto, é mostrado na Tabela 21.

Tabela 21 – Fluxo de caixa para o projeto no Brasil.

Investimento inicial (R\$)	Economia mensal (R\$)	Payback simples (meses)
281.067.440,10	7.460.000,00	37

Fonte: autoria própria.

3.4 SEMÁFORO COM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO

Sabe-se que o consumo de energia elétrica no Brasil está em constante crescimento. Torna-se cada vez mais difícil a construção de grandes hidrelétricas, e que em períodos secos, devido a diminuição dos grandes reservatórios, entram em operação as usinas termelétricas para atender a demanda nacional do consumo de energia elétrica.

O conceito de geração distribuída e renovável tem se tornado uma alternativa bastante interessante para aliviar a sobrecarga do sistema elétrico nacional, como é o caso da Energia Eólica e também Energia Solar, as quais são muito abundantes em nosso país.

Como já mostrado anteriormente, os mais de 32 mil semáforos instalados no país consumiriam anualmente mais de 27GWh, isso se já contássemos com a totalidade de substituição por *LED*.

A ideia é realizar um estudo de viabilidade para que toda essa estrutura opere com pequenas centrais geradoras solares, os painéis fotovoltaicos. Dessa forma teríamos já uma parcela da carga retirada do sistema elétrico nacional.

Nos estudos de viabilidade são propostos 4 diferentes tipos de configurações que utilizam painéis solares para alimentação de semáforos, cada uma com autonomia diferente, buscando de alguma forma desconectar toda essa carga do sistema, seja de forma parcial ou total.

3.4.1 Ensaio Realizado

Antes de um estudo de viabilidade econômica, tem-se a necessidade de saber se os equipamentos funcionam adequadamente com essa tecnologia.

Para tanto foi realizado um ensaio de funcionamento em laboratório de um Controlador Semafórico composto de módulos luminosos a *LED* sendo alimentado por um painel solar fotovoltaico.

A potência total do equipamento testado era de 48W e simulava uma estrutura semafórica simples de duas ruas com dois grupos focais cada. A estrutura é mostrada na Figura 15.



Figura 15 – Estrutura utilizada no ensaio
Fonte: autoria própria.

O painel solar utilizado, tinha a capacidade de geração de 140W de pico, ou seja, com a máxima incidência solar. A Figura 16 mostra o painel.



Figura 16 – Painel utilizado no ensaio
Fonte: autoria própria.

A Tabela 22 apresenta as especificações técnicas do painel utilizado.

Tabela 22 – Especificações técnicas do painel solar fotovoltaico.

Potência máxima (W)	140
Corrente em potência máxima (A)	8,01
Tensão em potência máxima (V)	17,5
Corrente de curto-circuito (A)	8,58
Tensão de circuito aberto (V)	22,7
Dimensões (C x L x A) (mm)	1.485 x 655 x 34
Peso (kg)	11,4
Capacidade de geração (Wh/dia)	690

Fonte: autoria própria.

Os demais componentes da estrutura de geração eram um regulador de carga, responsável pelo carregamento da bateria, uma bateria de chumbo ácida de 185Ah e um inversor de frequência, responsável pela conversão CC-CA para alimentar o semáforo. O inversor era bastante simples e gerava uma forma de onda quadrada. A Figura 17 mostra esses componentes.



Figura 17 – Demais componentes utilizados no ensaio
Fonte: autoria própria.

O equipamento permaneceu ligado em teste por 3 dias e o funcionamento foi bastante satisfatório. As condições climáticas ajudaram, pois tivemos na maior parte do tempo céu com poucas nuvens e em alguns momentos uma nebulosidade maior. Nota-se essa variação pelos valores coletados. Nos períodos de maior incidência solar a corrente de geração do painel solar chegava a ser maior que 6Acc, enquanto que nos períodos nublados, essa corrente de geração caía para menos de 3Acc.

O consumo do semáforo, medido na saída da bateria era fixo em 3,72Acc. O valor da tensão alternada na saída do inversor era de 109,5V. Como o equipamento de geração utilizado na simulação estava subdimensionado, nota-se que em

determinados momentos de nebulosidade a geração era abaixo do consumo. Aliado ao uso de somente uma bateria, a carga acumulada não era suficiente para alimentar o equipamento por uma noite inteira.

Entretanto, caso desejássemos que a estrutura fosse capaz de alimentar o equipamento por algumas horas apenas, visando atender o horário de ponta, a autonomia seria suficiente.

Os valores de corrente coletados são exibidos na Figura 18.



Figura 18 – Valores de corrente contínua coletados no ensaio.

(a) corrente de entrada no regulador de carga durante período de forte radiação solar; (b) corrente de entrada no regulador de carga durante período de fraca radiação solar; (c) corrente na entrada do inversor alimentando a carga

Fonte: autoria própria.

O correto dimensionamento da geração de energia elétrica via painel fotovoltaico para esse equipamento teste com potência de 48W e consumo de 35kWh/mês, seria utilizando 2 módulos fotovoltaicos de 140W de pico (capacidade de geração de 50,4kWh/mês) ou apenas 1 de 240W de pico (capacidade de geração

de 43,2kWh/mês), 4 baterias, 2 controladores de carga e o inversor de frequência, tudo isso buscando uma autonomia do banco de baterias de até 2 dias, conforme recomendação da extinta ABNT NBR 14298.

3.4.2 Estudo de Viabilidade

Para os cálculos econômicos de viabilidade que serão apresentados a seguir, será tomado como base um semáforo de potência média padrão. Obviamente, existem equipamentos com menor e maior potência instalados, mas para efeito de cálculo será adotado o consumo de 70kWh/mês.

Será adotado também o valor de radiação solar média anual de 6 horas, que corresponde ao valor médio da cidade de Curitiba e também de grande parte do país, conforme já foi mostrado na Figura 11 no capítulo 2.

O tempo de vida útil dos equipamentos de uma forma geral, é de 25 anos para o painel fotovoltaico e 3 anos e meio para as baterias.

Caso 1

Nesse primeiro caso, será calculado o investimento para a implantação de um sistema completo de geração solar, que tornaria o sistema independente do fornecimento de energia pela concessionária, ou seja, com banco de baterias que supririam o consumo do semáforo nos períodos noturno e de mau tempo. Para maior confiabilidade será adotado também uma autonomia desse banco de baterias de 2 dias.

A Tabela 23 mostra os equipamentos dimensionados, custos e o tempo de retorno do investimento, *payback*.

Tabela 23 – Equipamentos, custos e *payback* do caso 1.

3 módulos 140W (R\$)	2.280,00
7 baterias 240Ah (R\$)	7.145,83
Outros (R\$)	6.169,11
Custo TOTAL (R\$)	15.594,94
Economia mensal com a concessionária (R\$)	25,48
<i>Payback</i> simples (anos)	51

Fonte: autoria própria.

O campo outros da tabela corresponde aos custos com controladores de carga, inversor de frequência, suportes, cabos e conectores dos módulos solares.

A capacidade de geração dessa estrutura é de 75,6kWh por mês.

Caso 2

Agora, apenas será alterado o período de autonomia do banco de baterias de 2 para 1 dia. O sistema ainda seria independente do fornecimento de energia pela concessionária, porém com uma confiabilidade menor.

A Tabela 24 mostra os equipamentos dimensionados, custos e o tempo de retorno do investimento, *payback*.

Tabela 24 – Equipamentos, custos e *payback* do caso 2.

3 módulos 140W (R\$)	2.280,00
4 baterias 240Ah (R\$)	3.572,92
Outros (R\$)	6.169,11
Custo TOTAL (R\$)	12.022,03
Economia mensal com a concessionária (R\$)	25,48
<i>Payback</i> simples (anos)	> 39

Fonte: autoria própria.

O campo outros da tabela corresponde aos custos com controladores de carga, inversor de frequência, suportes, cabos e conectores dos módulos solares.

A capacidade de geração dessa estrutura é de 75,6kWh por mês.

Caso 3

Nesse terceiro caso, será calculado o investimento para a implantação de um sistema de geração solar sem o banco de baterias. O semáforo funcionaria através de painéis fotovoltaicos, porém haveria a necessidade do atendimento da concessionária nos períodos noturnos e de mau tempo.

Com isso tem-se a necessidade do uso de um inversor do tipo *On-grid*, que faz a parte de sincronismo com a rede elétrica. Assim o equipamento seria atendido pela rede elétrica da concessionária de energia em caso de falta da geração fotovoltaica. Outro fator relevante nessa forma de ligação é que, caso a produção de energia solar seja superior à demanda do equipamento, o excedente pode ser repassado à rede elétrica.

Nos cálculos a seguir não será levantada a hipótese de venda de excedentes à concessionária.

A Tabela 25 mostra os equipamentos dimensionados, custos e o tempo de retorno do investimento, *payback*.

Tabela 25 – Equipamentos, custos e *payback* do caso 3.

3 módulos 140W (R\$)	2.280,00
Inversor on-grid (R\$)	714,00
Outros (R\$)	930,00
Custo TOTAL (R\$)	3.924,00
Economia mensal com a concessionária (R\$)	6,16
<i>Payback</i> simples (anos)	53

Fonte: autoria própria.

O campo outros da tabela corresponde aos custos com suportes, cabos e conectores dos módulos solares.

A capacidade de geração dessa estrutura é de 75,6kWh por mês.

Caso 4

Nesse quarto caso, será calculado o investimento para a implantação de um sistema de geração solar e com baterias que supram o consumo em um curto período de tempo de três horas. O semáforo funcionaria normalmente através do

atendimento da concessionária nos períodos diurnos e noturnos, sendo apenas “desconectado” da rede e alimentado pelo banco de baterias no intervalo do horário de ponta (18:00 às 21:00).

Aqui também se tem a necessidade do uso de um inversor do tipo *On-grid*, que faz a parte de sincronismo com a rede elétrica.

A Tabela 26 mostra os equipamentos dimensionados, custos e o tempo de retorno do investimento, *payback*.

Tabela 26 – Equipamentos, custos e *payback* do caso 4.

1 módulo 140W (R\$)	760,00
1 bateria 185Ah (R\$)	762,81
Inversor on-grid (R\$)	714,00
Outros (R\$)	310,00
Custo TOTAL (R\$)	2.546,81
Economia mensal com a concessionária (R\$)	3,17
<i>Payback</i> simples (anos)	67

Fonte: autoria própria.

O campo outros da tabela corresponde aos custos com suportes, cabos e conectores dos módulos solares.

A capacidade de geração dessa estrutura é de 25kWh por mês.

A economia mensal de energia obtida utilizando essa estrutura é de 8,7kWh por semáforo, além da grande vantagem de retirar do sistema elétrico nacional todas as cargas oriundas de semáforos no período mais crítico, o horário de ponta.

4 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

Como se pode constatar nesse trabalho, a opção de utilização da tecnologia *LED*, em detrimento à lâmpada incandescente em semáforos, reduz significativamente os gastos com energia elétrica - cerca de 90% a 94% de economia no consumo – dependendo dos parâmetros da tecnologia adotada.

Se todo o país adotasse essa medida de eficiência, teríamos de alívio de carga do sistema de mais de 86MW. Isso equivale a capacidade de geração da importante Usina Hidrelétrica de Paraibuna no Estado de São Paulo, segundo a CESP – Companhia Energética de São Paulo. Para o Estado do Paraná, conforme visto no capítulo anterior, a redução do consumo equivaleria a uma PCH de 5,3MW e somente para a cidade de Curitiba, chegaremos a um cálculo equivalente de uma PCH de 2,7MW.

Aliada a essa grande economia de energia, com a adoção da tecnologia *LED*, tem-se a durabilidade maior do equipamento, que pode variar de 10 a 50 vezes maior se comparado com as lâmpadas incandescentes. Com isso, as intervenções de manutenção caem drasticamente, chegando a uma redução de trocas próxima aos 95%, como já podemos verificar nos semáforos da cidade de Curitiba-PR, onde a substituição das lâmpadas incandescentes por módulos *LED* está 90% concluída até a presente data.

Em contrapartida, os custos para implantação ainda são elevados, pois o retorno do investimento se verifica a partir do 37º (trigésimo sétimo) mês, ou seja a partir do 4º (quarto) ano.

O último objetivo do trabalho, que era verificar a operação de semáforos utilizando de geração solar fotovoltaica e analisar a viabilidade econômica da implantação, trouxe a tona ideias bastante razoáveis de formas de operação utilizando essa tecnologia. O funcionamento do semáforo através dessa fonte de energia solar mostrou-se satisfatório e com a adoção de algum dos casos analisados, pode-se dar um grande passo para aliviar a sobrecarga do sistema elétrico e ainda fomentar investimentos e pesquisas nessa área de geração.

Apesar dos avanços que essa tecnologia vem sofrendo recentemente, o seu custo é ainda elevado, o que dificulta a viabilidade dos projetos, face ao tempo de retorno do investimento ser bastante superior ao tempo de vida útil dos equipamentos envolvidos. Essa opção torna-se bastante atrativa quando vista como alternativa limpa e renovável de geração de energia para casos específicos e que não gere, ou pelo menos postergue, investimentos para ampliação da estrutura do setor elétrico. É muito relevante também a questão segurança, pois quando alimentado exclusivamente pela rede da concessionária, o semáforo está sujeito às faltas no fornecimento de energia, causando tumulto no trânsito e perigo aos usuários.

Os prejuízos de um “apagão” são imensuráveis, e é nossa proposta contribuir para a redução do pico de consumo de energia elétrica no horário mais crítico da curva diária, o chamado horário de ponta.

Espera-se que devido a essa contribuição, haja benefício na forma de tarifação, de modo que a economia mensal seja maior e o tempo de retorno do investimento seja reduzido, tornando o projeto mais atrativo.

Outro ponto a contribuir é a possibilidade do repasse dos excedentes de geração à rede, o que poderia tornar a implantação do sistema bastante vantajoso para as concessionárias de energia e o cliente consumidor.

Esperamos que dentro de pouco tempo tenhamos equipamentos com menor custo e maiores capacidades de geração e armazenamento de carga, para o pleno sucesso da utilização dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 14298:1999. Disponível em <www.abnt.com.br>. Acesso em: abr. de 2013.

ANEEL- **Energia Solar**. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_2.htm>. Acesso em: jun. de 2013.

ANEEL. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética – SPE, **Chamada Nº 013/2011 – Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais Para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”**, Brasília, DF: 2011.

CABREZIO, E. A. **Instalaciones Solares Fotovoltaicas**. Progensa, 2008.

Compact Cia. Disponível em: <www.compactcia.com.br>. Acesso em: abr. de 2013.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br>.

Dataprom Equipamentos e Serviços de Informática Industrial. **Controlador Semafórico**. Disponível em: <www.dataprom.com>. Acesso em: jun. de 2013.

DAVIDSON, Joel; KOMP, Richard J. **The New Solar Electric Home: The Photovoltaic How-to Handbook**. AATEC, Publications, 1995.

Fokus Sinalização. **Grupos Focais**. Disponível em :
<<http://www.fokussinalizacao.com.br/>>. Acesso em: jun. 2013.

FREE LIFE. **Energie Rinnovabili**. Disponível em:
<http://www.free-life.it/it/contenuti/modulo_fotovoltaico.htm>. Acesso em: jun. 2013.

GREEN, Martin A.; EMERY, Keith; KING, David L.; IGARI, Sanekazu; WARTA, Wilhelm. **Solar cell efficiency tables: version 16. Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, Sydney, v. 8, p. 377-384, 2000.

HELIOS Traffic Lamps. Disponível em:
<<http://www.helios.katowice.pl/main/index.html>>. Acesso em: jun. 2013.

*IESNA - Illuminating Engineering Society of North America. **American National Standard Practice for Roadway Lighting. RP-8-00.*** Ed. IESNA, New York, 2000a.

INSTITUTO RESSOAR. **LEDs guiam a iluminação pública do futuro.** Disponível em :
<http://www.ressoar.org.br/dicas_sustentabilidade_led_iluminacao_publica_do_futuro.asp>. Acesso em: set. 2013.

LIMA, Anderson L. de; JEDYN, André Gonçalves; CORRÊA, Fernando A. L.; MEHL, Ewaldo L. de Mattos. **Uso de Leds em Semáforos de Trânsito: um estudo da viabilidade técnico-econômica.** Revista Energia Alternativa, Ano 1, Edição 3, pp. 42-51, 2009.

LINARDI, Fred. **A origem do semáforo: sinal de trânsito.** Disponível em:
<<http://guiadoestudante.abril.com.br/aventuras-historia/origem-semaforo-sinal-transito-435369.shtml>>. Acesso em: jun. 2013.

NASCIMENTO, Alan. **Análise do Uso da Tecnologia LED na Iluminação Pública: Estudo das Perspectivas de Aplicação na Cidade de São Paulo.** 2012. 206 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2012.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio do Funcionamento da Célula Fotovoltaica.** 2004. 21 f. Monografia (Pós-graduação em Tecnologia) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Universidade Federal de Lavras, 2004. Disponível em: < www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf >. Acesso em: mai. 2013.

OSRAM. Disponível em: <www.osram.com.br>. Acesso em: jun. 2013.

PHILIPS. Disponível em: <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br>>. Acesso em: jun. 2013.

PIAI, Juliani Chico. **Estudo Comparativo de Técnicas de Controle Semafórico.** 2009. 63 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, 2009.

PINTO, Rafael Adaime. **Projeto e implementação de lâmpadas para iluminação interna empregando diodos emissores de luz (LED)**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2008.

SAIDEL, Marco Antonio; ALMEIDA JR, Sylvio de; FAVATO, Leonardo B.; RAMOS, Mário Cesar do Espírito Santo; IWASHITA, Juliana. **Leds em Iluminação Pública: tecnologias, desempenho e implantação**. Revista O Setor Elétrico. Edição 77, junho de 2012.

SEGUEL, Júlio Igor Lopez. **Projeto de Sistema Fotovoltaico Autônomo de Suprimento de Energia Usando Técnica MPPT e Controle Digital**. 2009. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SUL INFORMAÇÃO. **Iluminação pública LED de Reguengos de Monsaraz foi uma das 16 finalistas do prémio Auroralia**. Disponível em: <<http://www.sulinformacao.pt/2013/01/iluminacao-publica-led-de-reguengos-de-monsaraz-foi-uma-das-16-finalistas-do-premio-auroralia/>>. Acesso em: set. 2013.

VALLÊRA, António M. **Meio Século de História Fotovoltaica**. 2006. 6 f. Departamento de Física e Centro de Física da Matéria Compensada (CFMC), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2006. Disponível em: <solar.fc.ul.pt/gazeta.2006.pdf>. Acesso em: mai.2013.
