

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ELETROTÉCNICA
ENGENHARIA ELÉTRICA**

ANDERSON CLEYTON GARCIA

**RETROFIT DE ILUMINAÇÃO DE PÁTIO INDUSTRIAL COM A
UTILIZAÇÃO DE ENERGIA LIMPA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

ANDERSON CLEYTON GARCIA

**RETROFIT DE ILUMINAÇÃO DE PÁTIO INDUSTRIAL COM A
UTILIZAÇÃO DE ENERGIA LIMPA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. João Cesar de Paula
Salve.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento de Engenharia Elétrica
Curso de Engenharia Industrial Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Anderson Cleyton Garcia

Retrofit de iluminação de pátio industrial com a utilização de energia limpa

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 16:00hs do dia 27/11/2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Industrial Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Me(a). João Cesar de Paula Salve - Presidente (Orientador)

Prof(a). Me(a). Marco Antônio Ferreira Finocchio - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Murilo da Silva - (Membro)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as bênçãos que ele tem feito por mim, nunca me deixando desistir dos meus objetivos.

Ao meu orientador, Professor João Cesar de Paula Salve, e ao grande apoio oferecido pelo Professor Marco Antônio Ferreira Finocchio, pelos ensinamentos e toda a ajuda nesse tempo de faculdade.

A Cia Café Iguaçu Solúvel pela parceria realizada, em especial ao engenheiro eletricitista Carlos Alberto Zacari, pela atenção e contribuição para este trabalho.

A minha noiva, Maedi Sano, por toda a dedicação, paciência e apoio incondicional quando mais precisei, acreditando em minha capacidade e me incentivando sempre.

Aos meus pais, Creiton e Cirinéia, pelo carinho, atenção e por proporcionarem a melhor educação que um filho pode ter. Sem eles não chegaria a lugar algum.

Ao meu irmão Natan, por todo o companheirismo.

Aos meus amigos de república Sérgio, Bruno, Guilherme, Amadeus, Flex e de todos que por lá passaram, pelo apoio e momentos de diversão.

A todos os amigos e colegas da UTFPR por toda a ajuda.

A UTFPR e aos professores por me proporcionarem um ensino de qualidade.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente com a minha formação tanto acadêmica quanto pessoal.

*“O insucesso é apenas uma oportunidade para
recomeçar de novo com mais inteligência.”
(Henry Ford)*

RESUMO

GARCIA, Anderson Cleyton. **RETROFIT DE ILUMINAÇÃO DE PÁTIO INDUSTRIAL COM A UTILIZAÇÃO DE ENERGIA LIMPA**. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de engenharia Elétrica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

Esse trabalho apresenta a formulação de um retrofit de iluminação de pátio industrial, referente ao estacionamento da Cia Café Iguaçu, por meio da utilização de energia limpa. O estudo consiste na elaboração de um protótipo de um poste fotovoltaico, que atenda as especificações mínimas de qualidade de iluminação procurando proporcionar uma melhora no sistema de iluminação atual. Através desse estudo será possível realizar um diagnóstico detalhado do estado atual da iluminação do ambiente analisado e de como ficaria o mesmo com a implantação do retrofit, especificando possíveis gastos, investimentos e retornos financeiros.

Palavras-chave: Retrofit; Iluminação; Energia fotovoltaica; LED.

ABSTRACT

GARCIA, Anderson Cleyton. **RETROFIT DE ILUMINAÇÃO DE PÁTIO INDUSTRIAL COM A UTILIZAÇÃO DE ENERGIA LIMPA**. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de engenharia Elétrica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

This paper presents the design of a lighting retrofit industrial courtyard, referring to the parking Cia Café Iguaçu Soluble through the use of clean energy. The study is the development of a prototype of a photovoltaic post that meets the minimum specifications for quality lighting in seeking to provide an improvement of current lighting system. Through this study will be a detailed diagnosis of the current state of illumination of the analyzed environment and would like the same to the implementation of the retrofit, specifying potential expenditures, investments and financial returns.

Keywords: Retrofit; Lighting; Photovoltaics; Led.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de radiação solar no globo em kWh/m ²	14
Figura 2 – Célula Fotovoltaica.....	19
Figura 3– Curvas características do módulo fotovoltaico em três temperaturas diferentes.....	22
Figura 4– Potência máxima oferecida pelo módulo solar em diferentes horas do dia.	22
Figura 5– Configurações de controladores de carga: (a) Série e (b) Paralelo.	23
Figura 6– Placa de controle autônomo.....	28
Figura 7– Circuito integrado BA10324A.....	28
Figura 8– Curva característica do LDR, imagem ilustrativa e o PCB do componente.	29
Figura 9–Mili-relé, imagem ilustrativa e o PCB do componente.....	30
Figura 10– Circuito referente ao sistema de controle da luminária.	32
Figura 11– Circuito referente ao sistema de controle da luminária.	33
Figura 12– Resistência ôhmica em função da iluminância do LDR.....	34
Figura 13– Imagem frontal da luminária autônoma.	36
Figura 14– Imagem traseira da luminária autônoma com o sensor LDR e os bornes de entrada.	37
Figura 15– Bateria estacionária Freedom DF1500 – 93Ah.	40
Figura 16– Relação de carga em distintos horários do dia.	41
Figura 17– Imagem do painel fotovoltaico de 70W – 18V.	42
Figura 18– Imagem do controlador de carga utilizado.	43
Figura 19– Foto do protótipo do poste solar.....	46
Figura 20 – Tarifa Horo-sazonal Azul.....	50
Figura 21 – Projeto de adaptações para transformação de um poste convencional em um poste solar.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rendimento elétrico dos vários tipos de células fotovoltaicas.....	20
Tabela 2 - Vida útil das Baterias.....	26
Tabela 3 - Consumo diário da lâmpada (Wh).....	38
Tabela 4 - Tabela de instalação do painel fotovoltaico.....	41
Tabela 5 - Painel Fotovoltaico 70W.....	42
Tabela 6 - Programação do controlador de carga.....	44
Tabela 7 – Custo de produção do protótipo.	46
Tabela 8 – Iluminância por número de LEDs.	47
Tabela 9 – Comparação dos postes comercializados.	47
Tabela 10 – Perdas ôhmicas nos reatores convencionais.	49
Tabela 11 – Relação tarifa e seu respectivo consumo.....	50
Tabela 12 – Valor mensal pago por ponto de luz.	51
Tabela 13 – Tarifas pagas por materiais e serviços prestados.	51
Tabela 14 – Investimento Retrofit.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS

Ah – Amper hora
CI – Circuito integrado
LDR – *“Light Dependent Resistors”*
LED – *“Light Emitting Diode”*
CI – Circuito Integrado
PCB – *“Printed Circuit Board”*
kWh – Quilowatt-hora
GWh – Gigawatt-hora
TWh – Terawatt-hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivos Específicos.....	15
1.2 ESTRUTURA	16
2 FUNDAMENTOS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	17
2.1 POSTE FOTOVOLTAICO	17
2.1.1 Painel Fotovoltaico.....	18
2.1.2 Controlador de Carga e Descarga	23
2.1.3 Luminária Automatizada	24
2.1.4 Bateria	24
3 PROJETO	26
3.1 LUMINÁRIA DE LED AUTÔNOMA	27
3.1.1 Componentes Utilizados	27
3.1.1.1 Comparador de tensão	28
3.1.1.2 Sensor de luminosidade.....	29
3.1.1.3 Resistores	29
3.1.1.4 Relés.....	30
3.1.1.5 Transistores	31
3.1.1.6 LEDs	31
3.1.2 Sistema de Controle	32
3.1.3 Comparador de Tensão	33
3.1.4 Referência de Controle	34
3.1.5 Funcionamento do controle	35
3.1.6 Característica físicas da luminária	36
3.2 BANCO BATERIAS.....	37
3.2.1 Autonomia prevista	38
3.2.2 Valor do banco de baterias	39
3.3 PAINEL FOTOVOLTAICO	40
3.4 CONTROLADOR DE CARGA	43
4 PROTÓTIPO	45
5 RETROFIT	48
5.1 CONSUMO	49
5.1.1 Análise das lâmpadas.....	49
5.1.2 Análise da Tarifa	49
5.1.3 Análise da Manutenção	51
5.2 POSTES	51
6 ANÁLISE DE INVESTIMENTO	52
6.1 BENEFÍCIOS	53

7 CONCLUSÃO.....	54
7.1 PERSPECTIVAS FUTURAS.....	55
REFERÊNCIAS.....	56
ANEXO A - Poste convencional adaptado para poste solar.	61

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o aumento da temperatura do planeta vem se agravando, aumento este que teve início devido a ações humanas tomadas a partir da Revolução Industrial no século XVIII, onde o processo de evolução industrial veio a ocasionar um grande crescimento na taxa de poluição mundial e degradação da natureza (GREENPEACE, 2013).

Com o intuito da produção energética, milhões de partículas nocivas à saúde do planeta são geradas e jogadas no meio ambiente através da queima de petróleo e carvão, duas fontes de energia encontradas na natureza cujo calor movimenta usinas, indústrias e grandes economias. Esta queima é responsável por uma grande liberação do dióxido e do monóxido de carbono (CO_2 e CO respectivamente), gases estes que ficam concentrados em determinadas regiões da atmosfera, formando uma camada que bloqueia a dissipação do calor. Desta forma, a irradiação de calor da superfície fica retida na atmosfera e o calor não é lançado para o espaço, devido a estes fatores, a temperatura terrestre tende a aumentar (FREITAS, 2014). Este fenômeno denomina-se efeito estufa artificial.

Com o passar do tempo o efeito estufa, causado pela queima dos materiais citados acima, foi se agravando e, como forma corretiva e preventiva, a economia mundial tem investido na redução desta camada e em tecnologias autossustentáveis, pois quanto mais tempo essas soluções e as mudanças necessárias demorarem para ser implantadas, pior será as condições de vida e mais caro e difícil será lidar com as mudanças climáticas.

Atualmente existem formas de produção de energia não poluentes (usinas hidrelétricas, eólicas, fotovoltaicas e biomassa), mas que muitas vezes não conseguem suprir a demanda estimada, devido à falta de chuvas, vento ou a escassez de luminosidade, e acabam por recorrer ao auxílio de usinas termoelétricas e nucleares, proporcionando então, um custo maior na produção de energia elétrica e voltando a produzir em quantidades maiores poluentes ao meio ambiente. Segundo o relatório estatístico mensal da Agência Internacional de Energia sobre eletricidade (2014), estima-se que 68% da energia produzida no mundo seja proveniente da queima de combustíveis fósseis somados (petróleo, carvão e gás).

Devido à necessidade da diminuição da poluição produzida e a procura de formas de gerações de energia mais limpas, ecológicas e economicamente viáveis

(através de novas tecnologias). Com este intuito, países desenvolvidos como os Estados Unidos, China, Alemanha, Espanha, em desenvolvimento, dentre muitos outros, tem ampliado seus investimentos nas áreas de pesquisas e evolução de sistemas e tecnologias que utilizem fontes de energias renováveis, assim como as usinas fotovoltaicas.

Com base nos exemplos obtidos dos pioneiros do uso da energia solar, vários países tem aplicado largamente seu capital neste campo. A Alemanha dominou por muitos anos a produção de energia solar, possuindo no ano de 2012 um potencial instalado de 28 GW de produção de energia elétrica fotovoltaica e com uma meta a ser atingida de 66 GW até o ano de 2030, sendo que este tipo de energia já está presente na casa de um em cada dez moradores (MONTGOMERY, 2012). O reinado da Alemanha, no que se diz respeito a energia solar, chegou ao fim. A China terminou em 2013 a construção de 40 novas usinas de energia solar com capacidade de produção de mais de 1GW cada uma delas. O potencial mundial chinês de produção de energia solar estima-se em 21,59%, seguida pela Alemanha com potencial mundial de 19,9% destacando que entre dezembro de 2012 e julho de 2013 houve um aumento de 35% na produção de energia solar entre os 596 parques espalhados por todo o mundo (ECOD, 2013).

As usinas solares, eólicas e as de biomassa são as únicas formas existentes hoje de produção de energia 100% limpa, já que as hidrelétricas mesmo com a produção de energia pelo fluxo de água através dos geradores presentes na barragem, necessitam de uma mudança brusca na fauna e flora local, a partir do momento de construção e instalação, até após a conclusão das obras e início da sua operação, pois a inundação das áreas de represamento ocasiona a morte de vários animais, plantas e árvores ali presentes, deslocando populações ribeirinhas e transformando a vida e a cultura de pessoas e animais locados nas regiões inundadas.

Segundo Ribeiro (2002), toda energia utilizada pelo homem origina-se de forma direta ou indiretamente do sol.

“Toda a energia da Terra deriva do Sol. Painéis solares recebem a energia diretamente. Tanto a energia eólica quanto a hidroelétrica utilizam indiretamente a energia do sol. Os recursos de carvão e petróleo, que estamos tão ocupados em queimar hoje, representam a energia solar acumulada em um passado distante. A cada dia, a quantidade de energia que o sol despeja sobre a Terra é suficiente para abastecer a nossa necessidade de consumo por cinco anos, baseando-se nos índices atuais. Melhor de tudo é que, com esta fonte de energia, não existem custos ocultos e nenhuma

sujeira para as nossas crianças no futuro. A quantidade de energia solar que utilizamos hoje, não reduz a que utilizaremos amanhã e depois e depois.” (RIBEIRO, 2002, p.19)

O Brasil teve inaugurada sua primeira usina solar no dia 4 de agosto de 2011 em Tauá, no sertão do Ceará, e tem hoje a capacidade de produção energética de 1 MW e com um projeto de possível ampliação futura para 50 MW com o investimento de R\$ 500 milhões. O Rio Grande do Norte irá receber uma das maiores usinas solares do Brasil, com capacidade instalada de 1,1 MW a usina terá a geração de 1,65 GWh por ano, evitando a emissão de 380 toneladas de carbono ao meio ambiente (TEIXEIRA, 2011).

Do consumo de energia elétrica no Brasil, cerca de 17% destina-se a iluminação. Destes, cerca de 70% são usados em partes iguais, pelos setores; residencial, comércio e serviços; 25% vão para iluminação pública; e os restantes 5% são utilizados pela indústria (REGINO; ANDRADE, 2002).

O Brasil tem um dos maiores índices de incidência solar do mundo (POMERMAYER, 2007), perdendo apenas para regiões desertificadas (como pode ser observado na Figura 1), onde já se encontram instaladas usinas solares, proporcionando uma grande geração de energia, considerando que chuvas em regiões desérticas acontecem com pouca frequência. Além disso, é no Brasil que se encontra cerca de 90% das jazidas mundiais conhecidas de Silício, matéria básica para produção dos módulos solares (RIBEIRO, 2002).

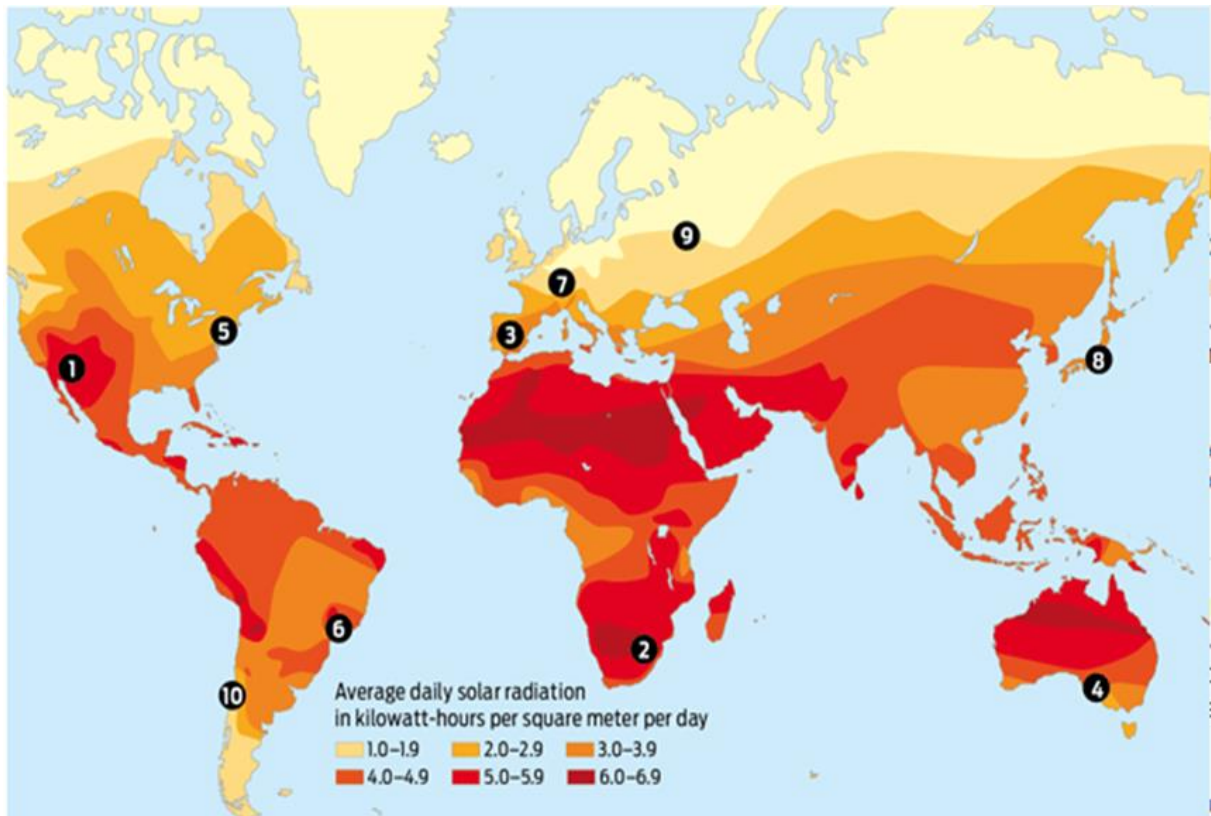


Figura 1 – Mapa de radiação solar no globo em kWh/m²

Fonte: UPSON, 2008.

Além das Usinas Solares, vários países, inclusive o Brasil, vêm investindo na utilização deste tipo de energia no setor de iluminação pública, obtendo assim uma enorme economia referente ao consumo energético, manutenção das redes e postes e gastos com instalação dos postes e secundários (fios e transformadores responsáveis pela alimentação do circuito de iluminação).

Sendo assim, neste trabalho será abordado a produção de energia fotovoltaica e o estudo de um possível retrofit da iluminação do pátio industrial de uma determinada empresa, expondo assim o custo benefício pela implementação de um sistema de iluminação autossuficiente, com a especificação do custo a ser investido, o tempo de retorno do capital e o lucro obtido e esperado a longo prazo.

Segundo Regino e Andrade (2002), retrofit significa readequar, reajustar e melhorar algo de forma técnica.

“(...) O termo é utilizado especificamente por engenheiros, arquitetos e pesquisadores envolvidos com eficiência energética em edificações, para definir quaisquer tipos de reformas ou alterações em sistemas consumidores de energia. O retrofit representa um enorme potencial de economia de energia, devido aos avanços tecnológicos dos sistemas de iluminação e ar

condicionado.” (REGINO; ANDRADE, 2002, p.47)

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo projetar e construir um sistema de iluminação autossustentável formado basicamente por uma luminária de LED autônoma (aumenta e diminui a luminosidade fornecida gradativamente de acordo com a variação da luminosidade ambiente), uma bateria estacionária e um controlador de carga, e adaptá-la as necessidades da Cia Café Iguaçu.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho estão listados abaixo:

- Levantar conceitos sobre Engenharia de Iluminação, em especial sobre utilização de LEDs para iluminações externas.
- Desenvolver uma luminária de LED autônoma e efetuar testes luminotécnicos para determinar o melhor ângulo e altura em que a luminária deve ser instalada.
- Construir um protótipo do poste solar.
- Realizar um tratamento estatístico com o intuito de fundamentação do projeto levantado.
- Adequar o projeto as necessidades da Cia Café Iguaçu, por meio da elaboração de um retrofit de iluminação de pátio industrial com a utilização de energia limpa.

1.2 ESTRUTURA

O documento apresenta a seguinte estrutura: o Capítulo 2 é destinado a apresentação de conceitos sobre energia fotovoltaica, dando ênfase a requisitos necessários para a produção de um poste solar; o Capítulo 3 é dedicado aos conhecimentos necessários para o projeto e a produção de um poste solar, detalhando o funcionamento da luminária desenvolvida, os métodos de escolha do banco de baterias, o melhor posicionamento do painel fotovoltaico e o modo de operação do controlador de carga; o Capítulo 4 tem como objetivo apresentar o protótipo construído, o custo de produção do mesmo e a comparação da iluminância obtida com a iluminância da lâmpada construída por Alves (2013); no Capítulo 5 encontra-se a apresentação do projeto de Retrofit realizado para a Cia Café Iguaçu Solúvel e o projeto de adaptação do poste; no Capítulo 6 é mostrada a análise de investimento, relatando o tempo necessário para o ressarcimento do investimento realizado e seus benefícios; e por fim no Capítulo 7 as conclusões finais e perspectivas futuras.

2 FUNDAMENTOS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Esse capítulo destina-se a uma revisão sobre alguns dos principais conceitos sobre a energia fotovoltaica, em especial nos componentes necessários para a construção de um poste fotovoltaico.

2.1 POSTE FOTOVOLTAICO

Edmond Becquerel em 1839, foi quem descobriu e relatou o primeiro fenômeno fotovoltaico da história, onde o mesmo observou o aparecimento de uma diferença de potencial entre as extremidades de uma substância semicondutora após a exposição do mesmo a incidência de luz. Somente após um século, em 1956, com a evolução da microeletrônica é que foram construídas as primeiras células fotovoltaicas em porte industrial (PALZ,1995).

Durante anos a energia solar teve a produção e o uso destinados especificamente para agregados espaciais, tendo como principal objetivo a produção e fornecimento de energia elétrica a satélites e naves espaciais. Somente em 1973 após a crise do petróleo foi que vários países notaram a possibilidade real de um esgotamento de reservas petrolíferas e começaram a investir na pesquisa em relação a energia solar (SHEER, 2002).

A produção de energia solar é a principal solução para cerca de 2 bilhões de pessoas, cerca de 30% da população mundial, ainda vive sem o auxílio de energia elétrica (IEA, 2013).

O uso de postes, candeeiros e painéis solares é mais rentável quando o local a ser alimentado trata-se de um local ainda não proveniente de energia elétrica, pois para a criação de um novo sistema de fornecimento de energia elétrica para áreas ainda não atendidas seria necessário; a implantação de postes, estruturas para a interligação de cabos, transformadores, lâmpadas e afins, cabeamento, além da mão de obra referente a todo processo realizado, o que inclui a utilização de pessoas capacitadas desde o projeto a ser elaborado até para a implantação e execução do mesmo (fixação dos postes e estruturas, passagem dos cabos de AT e BT, etc.).

O aumento desenfreado da ampliação de carga pode vir a gerar uma reação em cadeia em toda a rede, ou seja, quando há um grande aumento de carga, é

necessário que também ocorra uma adaptação e uma possível ampliação nas subestações de recebimento e gerenciamento de energia, na demanda de produção, na compra de materiais caros (como transformadores), o que muitas vezes pode vir a ser um processo demorado ou até mesmo arquivado devido ao alto valor do investimento.

Os postes fotovoltaicos dispensam a maior parte destes custos, não deixando é claro de ser um alto investimento, pois através deste tipo de sistema de iluminação elimina-se a compra e instalação de cabos e transformadores, além da fácil e rápida instalação, economizando equipamento, tempo, mão de obra e consequentemente dinheiro.

Em países onde a produção energética solar já tomou uma grande proporção, é normal encontrar geradores solares não só em usinas solares e em iluminação pública e privada, mas vem se tornando comum a presença de pequenas subestações de geração de energia elétrica fotovoltaica residenciais, onde pessoas físicas acabaram por adquirir o equipamento, e como muitas vezes sua produção energética ultrapassa a demanda da residência, a mesma acaba por vender energia para a concessionária, eliminando os gastos energéticos domésticos, produzindo uma renda mensal instável (o valor recebido da concessionária referente a venda de energia elétrica irá variar devido a oscilação na produção de energia e no consumo residencial), proporcionando um retorno financeiro quanto ao capital investido mais rápido.

Um poste fotovoltaico consiste na junção de quatro equipamentos fundamentais, o painel fotovoltaico, o controlador de carga e descarga, a luminária, e a bateria responsável por armazenar a energia produzida. Nos tópicos a seguir estes equipamentos serão descritos mais detalhadamente.

2.1.1 Painel Fotovoltaico

O principal componente utilizado na luminária autossustentável é o captador solar, composto por células fotovoltaicas ou fotoelétricas que consistem basicamente em dispositivos capazes de transformar a energia luminosa fornecida pelo sol em energia elétrica.

Atualmente o número de pesquisas e investimentos voltados para a energia solar é muito alto devido ao fato da mesma ser proveniente de uma forma limpa de

geração, através de uma fonte renovável e abundante, o sol. Mesmo com o aumento dos investimentos e das pesquisas, as células fotovoltaicas ainda se restringem a uma baixa eficiência de conversão energética, por volta de 16% nas células normalmente usadas e 28% nas células de arsenieto de gálio (uso restrito para a indústria espacial devido ao elevado custo quanto à escassez da matéria-prima e a produção) (MOREIRA, 2006).

As células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, ou seja, com características intermediárias entre um isolante e um condutor, sendo geralmente utilizado o silício, devido a sua abundância. O silício é encontrado normalmente na forma de areia e através de métodos de purificação obtém-se o silício na forma pura, que por sua vez é um mau condutor pela falta de elétrons livres, então é necessário que aconteça o processo de dopagem, onde é acrescentado outros elementos à formação original do silício.

Na dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material portador de carga negativa, mais conhecido como silício tipo N e na dopagem do silício com o boro, obtém-se um material portador de carga positiva, mais conhecido como silício tipo P. A célula fotovoltaica é constituída por uma camada fina de silício tipo N e uma camada mais espessa de silício tipo P (ver Figura 2).

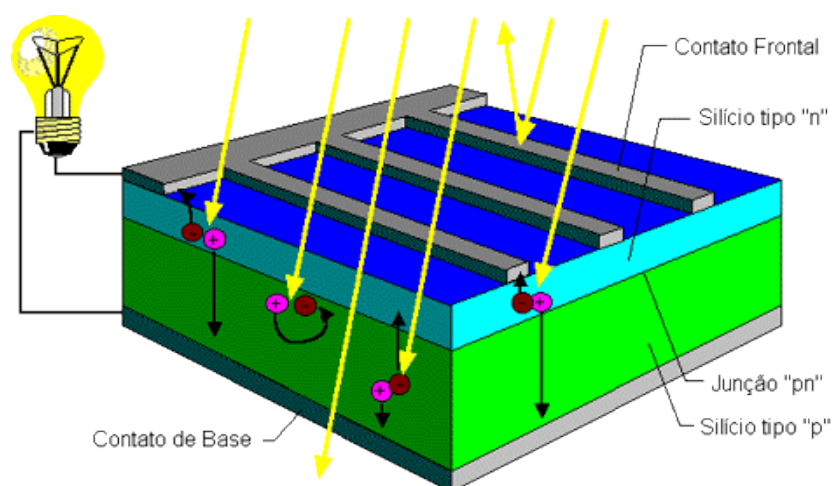


Figura 2 – Célula Fotovoltaica

Quando unidas, as camadas P-N formam um campo elétrico devido aos

elétrons livres na camada N e a falta de elétrons na camada P. A incidência de luz sobre a célula fotovoltaica causa uma colisão entre os fótons e os elétrons da estrutura do silício, fornecendo energia e transformando-os em condutores. Os elétrons então fluirão da camada P para a camada N devido ao campo elétrico formado inicialmente.

Através da ligação de um condutor externo interliga-se a camada negativa e a positiva, fechando assim o circuito e proporcionando a geração de corrente elétrica (movimento ordenado dos elétrons). Logo, enquanto a luz incidir na célula o fluxo de corrente elétrica irá manter-se existente e a célula continuará gerando corrente elétrica e esta corrente tomará intensidade com a mesma proporção que a luz incidente se intensificar.

A célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, apenas gera e mantém um fluxo de elétrons num circuito fechado enquanto houver incidência de luz sobre a mesma, este fenômeno é conhecido com efeito fotovoltaico.

Segundo Loeb (2006), os três principais tipos de células solares são as formadas por cristais mono-cristalinos, poli-cristalinos e silício amorfo.

- **As células mono-cristalinas** representam a primeira geração dos painéis solares com um potencial de rendimento elétrico relativamente alto (entre 12% e 20%, alcançando até 24% em laboratório), mas a sua produção era financeiramente inviável pelo fato da necessidade de uma grande quantidade de energia em sua fabricação, devido a necessidade da obtenção de um nível muito puro do cristal e uma estrutura cristalina praticamente perfeita.
- **As células poli-cristalinas** por sua vez, possuem um custo de produção inferior, utilizando menos energia em sua fabricação, mas em contrapartida apresentam um baixo rendimento energético (entre 11% e 15%, obtendo-se até 18% em laboratório), a redução da eficiência explica-se devido a imperfeição na produção do cristal.
- **As células de silício amorfo** são as que apresentam o menor custo de fabricação, mas a redução do custo também se reflete na eficiência energética (entre 6 e 10%, ou 13% em laboratório).

Tabela 1 - Rendimento elétrico dos vários tipos de células fotovoltaicas

	Rendimento Típico	Máximo registrado	Rendimento máximo registrado em
--	-------------------	-------------------	---------------------------------

		em aplicações	laboratório
Mono-cristalina	12-15%	22,7%	24%
Poli-cristalina	11-14%	15,3%	18,6%
Silício amorfo	6-7%	10,2%	12,7%

Fonte: BP Solar

Devido ao rendimento energético, as células de silício mono cristalino são historicamente as mais usadas mesmo custando mais caro. Um material que vem sendo estudado e tem grande potencial para substituir as células de silício mono cristalino futuramente, é um composto baseado no disseleneto de Cobre e Índio, que possui uma eficiência energética consideravelmente elevada, em torno de 18% (LOEB, 2006).

Um conjunto de células associadas em série e/ou paralelo formam um painel fotovoltaico, e com o auxílio de conversores e inversores associados ao armazenamento de corrente elétrica em uma bateria constituem um sistema fotovoltaico de geração e armazenamento de energia elétrica. Este sistema pode abastecer várias unidades consumidoras, sendo usada para aquecimento e/ou bombeamento de água, geração de energia para distribuição casual (usinas), alimentação de demais pontos de luz e tomadas residenciais e para projetos de iluminação, tema este, estudado neste trabalho.

É certo que, a energia produzida pelo módulo fotovoltaico é proporcional a incidência de radiação solar sobre o mesmo, contudo essa energia produzida tem seus pontos de saturação que variam de acordo com o ambiente.

“A incidência de irradiação solar sobre o módulo proporciona tensão de circuito aberto (V_{oc}), aumentando como função logaritma da intensidade luminosa e podendo ser medida por meio de um voltímetro nos terminais positivo e negativo no módulo. A corrente de curto circuito (I_{sc}), variando linearmente com a intensidade luminosa, pode ser medida através de amperímetro. Quando conecta-se um acessório, pode-se gerar um gráfico $I \times V$.” (GNOATTO et al., 2005).

A Figura 3 mostra a curva característica do painel fotovoltaico em 3 condições diferentes.

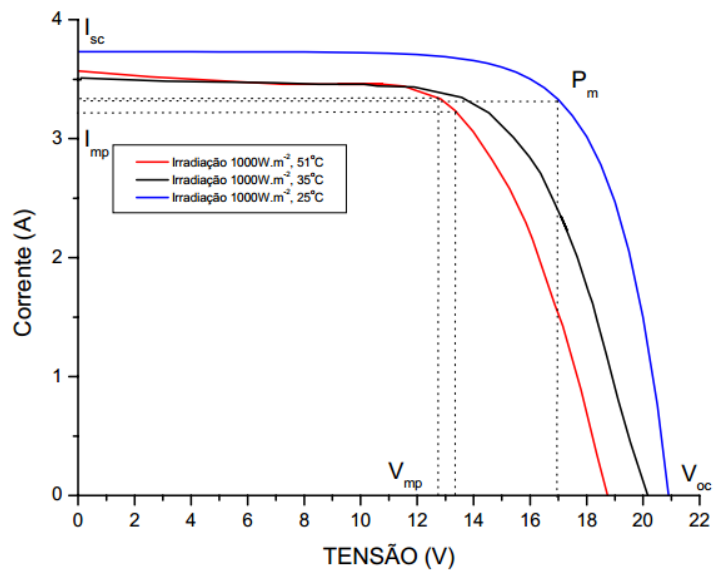


Figura 3– Curvas características do módulo fotovoltaico em três temperaturas diferentes.

Não é possível estabelecer um valor constante de energia produzida pelo módulo (W/h), devido ao fato que tal produção varia conforme a hora do dia, logo para que se obtenham valores mais constantes é necessário trabalhar com a quantidade de energia diária entregue (Wh/d).

A curva de potência máxima de um módulo em função da hora do dia pode ser descrita pelo diagrama de carga mostrado na Figura 4.

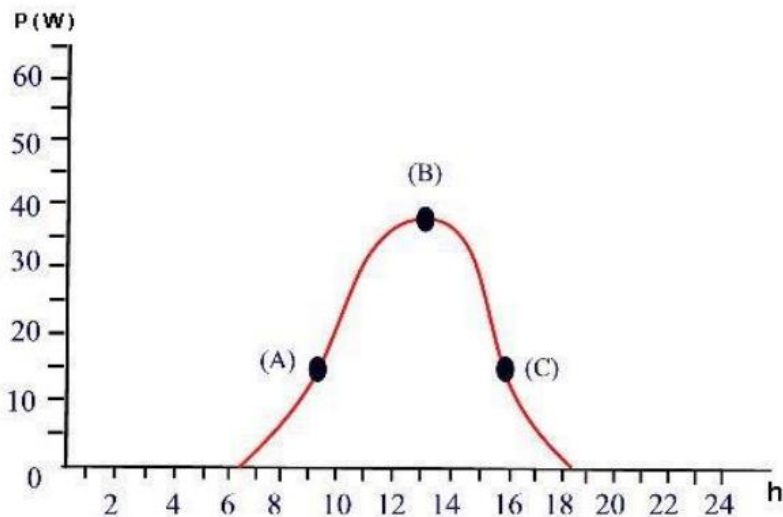


Figura 4– Potência máxima oferecida pelo módulo solar em diferentes horas do dia. Fonte: FINOCCHIO, 2006.

2.1.2 Controlador de Carga e Descarga

Como citado no t3pico anterior, a produ3o energ3tica dos pain3is solares 3 proporcional a quantidade de luz solar recebida e as baterias n3o suportam esta varia3o. A solu3o utilizada para resolver este problema e aperfei3oar o carregamento das baterias 3 a instala3o de controladores de carga e descarga entre os pain3is fotovoltaicos e as baterias.

Controladores de carga s3o dispositivos respons3veis por efetuar o papel de regulador de tens3o, assegurando a carga otimizada das baterias e mantendo-as em regime de flutua3o, quando atingida a carga total sem a necessidade de uso, evitando sobrecargas ou descargas excessivas, otimizando e prolongando a sua vida 3til.

Controladores de descarga s3o respons3veis por proteger as baterias contra descarga excessiva, de forma a assegurar longa vida 3til 3s mesmas.

O controlador monitora constantemente a tens3o da bateria e 3 por esta tens3o que ele determina se a bateria est3 ou n3o totalmente carregada ou descarregada. Quando a referida tens3o alcan3a um valor para o qual o controlador entende que a bateria est3 totalmente carregada (aproximadamente 14.1 Volts para uma bateria de 12 Volts nominais, como a usada neste trabalho) o controlador interrompe o processo de carga, abrindo o circuito entre o m3dulo fotovoltaico e a bateria (controle tipo s3rie) ou curto-circuitando os m3dulos fotovoltaicos (controle tipo shunt), como observados na Figura 5. O consumo da carga far3 com que a bateria comece a descarregar-se e, portanto a diminuir sua tens3o, o regulador reconecta o gerador 3 bateria, assim que poss3vel, e recome3a o ciclo mantendo sempre a tens3o e corrente ideais para esta recarga.

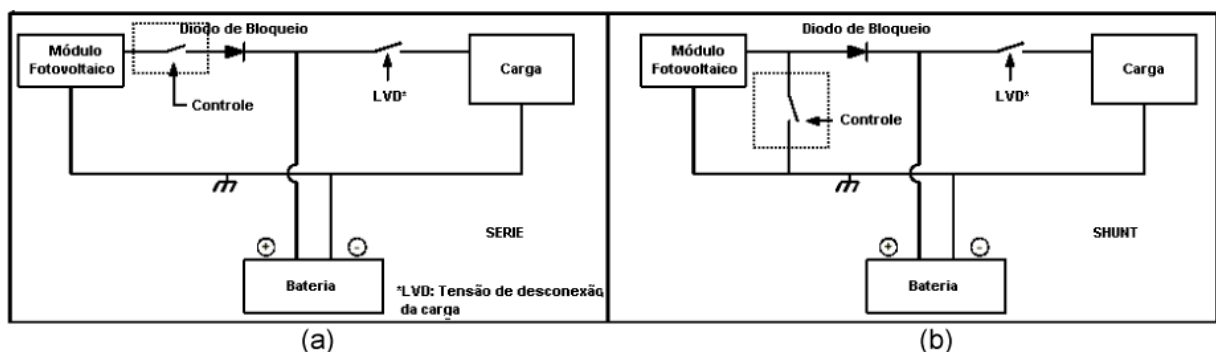


Figura 5– Configura3es de controladores de carga: (a) S3rie e (b) Paralelo.
Fonte: MONTEIRO e ZILLES, 2004.

A maioria dos controladores dispõe de um alarme ou um sistema informativo, com a função de mostrar quando é atingido o nível mínimo e máximo de tensão na bateria, interrompendo assim a descarga, ou a carga respectivamente, evitando uma perda na vida útil da bateria e um possível aquecimento nos acumuladores.

No mercado é fácil de se encontrar controladores de carga, descarga, e dispositivos capazes de efetuar as duas funções ao mesmo tempo conhecidos como Controladores de Carga e Descarga ou Auto Switch.

2.1.3 Luminária Automatizada

A luminária consiste em um equipamento destinado a distribuição da iluminação, que neste projeto refere-se a iluminação proveniente de lâmpadas de LED.

“O LED é um componente eletrônico semicondutor, ou seja, um diodo emissor de luz (L.E.D = *Light Emitter Diode*), mesma tecnologia utilizada nos chips dos computadores, que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz. Tal transformação é diferente da encontrada nas lâmpadas convencionais que utilizam filamentos metálicos, radiação ultravioleta e descarga de gases, dentre outras. Nos LEDs, a transformação de energia elétrica em luz é feita na matéria, sendo, por isso, chamada de Estado sólido (Solid State). O LED é um componente do tipo bipolar, ou seja, tem um terminal chamado anodo e outro, chamado catodo. Dependendo de como for polarizado, permite ou não a passagem de corrente elétrica e, conseqüentemente, a geração ou não de luz. “(IAR-UNICAMP, 2004)

Foram realizadas adaptações e melhorias em uma luminária já existente (ALVES, 2013) para a produção da luminária utilizada neste projeto, sua parte funcional divide-se basicamente em duas etapas: o modo de acionamento dos LEDs e a forma de controle da iluminação.

A luminária de LED projetada para o sistema é composta por quatro grupos de quarenta e cinco LEDs cada, totalizando cento e oitenta LEDs. O acionamento dos LEDs dar-se-á inversamente proporcional a luminosidade ambiente, aumentando a luminosidade fornecida gradativamente até alcançar seu ponto de máxima potência.

O projeto e construção da luminária será melhor explicada no Capítulo 3.

2.1.4 Bateria

As baterias são o pulmão de um sistema fotovoltaico isolado e servem para garantir o fornecimento de energia quando não houver incidência solar (noites e dias nublados). São as baterias que determinam a autonomia de um sistema solar autossuficiente fornecendo uma intensidade de corrente muitas vezes superior àquela que o dispositivo fotovoltaico pode entregar.

A unidade de construção básica de uma bateria é a célula de 2 Volts. A tensão de uma destas células varia entre 1,75 Volts e 2,5 Volts, sendo a média em torno de 2 Volts (tensão nominal), dependendo do seu estado de carga, se a mesma está a carregar, descarregar ou em circuito aberto. Com a associação das células é que são determinadas as características das baterias. Quando as células de 2 Volts são conectadas em série obtém-se mudança na tensão da bateria e quando conectadas em paralelo a tensão permanecerá a mesma, porém a capacidade de corrente será alterada.

As baterias são comercializadas de acordo com sua capacidade de armazenagem de energia (velocidade de descarga medida em Ah) e seu ciclo de vida (número de vezes em que a bateria pode ser carregada e descarregada a fundo antes que se esgote sua vida útil).

Atualmente são encontrados inúmeros tipos, modelos e tamanhos de baterias mas, as baterias adequadas para energia solar são as baterias estacionárias ou de ciclo profundo. Segundo Finocchio (2006) estas baterias possuem cerca de 2500 ciclos de vida quando a profundidade de descarga é de 20% e cerca de 1200 ciclos quando a profundidade de descarga é de 50%.

Dentre os tipos de baterias mais usados destacam-se:

- **Baterias automotivas:** Devem ser evitadas, pois foram produzidas para fornecer grandes correntes por curtos períodos de tempo (partidas do automóvel), ou seja, não suportam descargas profundas e por isso sua vida útil fica extremamente reduzida se utilizada em sistemas solares.
- **Baterias estacionárias comuns:** Estas baterias utilizam placas mais grossas que as tradicionais, o que permite a elas passar por descargas profundas. Dentre as citadas são as que possuem o melhor custo benefício proporcionando uma boa opção para sistemas pequenos.
- **Baterias OPzS:** São baterias usadas em sistemas de energia alternativa. Estas baterias são ventiladas, ou seja, liberam gás e devem ter reposição de

água periodicamente. São utilizadas em casos específicos devido aos riscos de explosão e intoxicação causados pela exposição ao gás liberado.

- **Baterias de Gel:** São baterias seladas compostas por gel, que não liberam gás. São muito utilizadas em ambientes fechados ou que se movimentam, devido ao fato do gel ficar estável dentro da bateria mesmo com movimentos bruscos.
- **Baterias AGM:** Das citadas acima, esta bateria é a mais cara, mais geralmente pagam o investimento devido ao seu excelente rendimento. Nestas baterias há uma capa de vidro que é utilizada para conter os eletrólitos, são baterias seladas, que não liberam gás.

As baterias são o primeiro item a se desgastar em um sistema fotovoltaico e, portanto, a sua escolha deve levar em conta o custo de manutenção e eventual troca, pois sistemas autossustentáveis são projetados para durar trinta anos ou mais (RIBEIRO, 2002) e economizar em baterias pode não ser a melhor opção a longo prazo.

A representante de vendas de baterias e sistemas autossustentáveis Neosolar (2014) estabelece a vida útil para cada um dos cinco tipos de baterias mostradas na Tabela 2.

Tipo	Vida útil (anos)
Automotiva	-
Estacionária comum	4 a 5
OPzS	>10
Gel	>10
AGM	>10

Fonte: Neosolar, 2014

3 PROJETO

Este capítulo destina-se à produção do poste solar, dividindo e especificando detalhes sobre o projeto e de todas as partes responsáveis pela sua formação.

3.1 LUMINÁRIA DE LED AUTÔNOMA

A luminária de LED usada no projeto é composta por 180 LEDs de alto brilho e um sistema autônomo de controle por meio de um circuito integrado comparador de tensão.

3.1.1 Componentes Utilizados

Os componentes utilizados para a construção da placa de controle da luminária mostrada na Figura 6 foram:

- 01 Circuito integrado BA10324A
- 01 Sensor LDR 5mm
- 05 Resistores de cerâmica de $10\text{k}\Omega$ - $\frac{1}{4} W$
- 04 Resistores de cerâmica de $1\text{k}\Omega$ - $\frac{1}{4} W$
- 04 Resistores de cerâmica de 10Ω - $10W$
- 03 Trimpot de $20\text{k}\Omega$
- 01 Trimpot de $10\text{k}\Omega$
- 04 Mili-relés de 12V
- 04 Transistores BC 639
- 04 Diodos

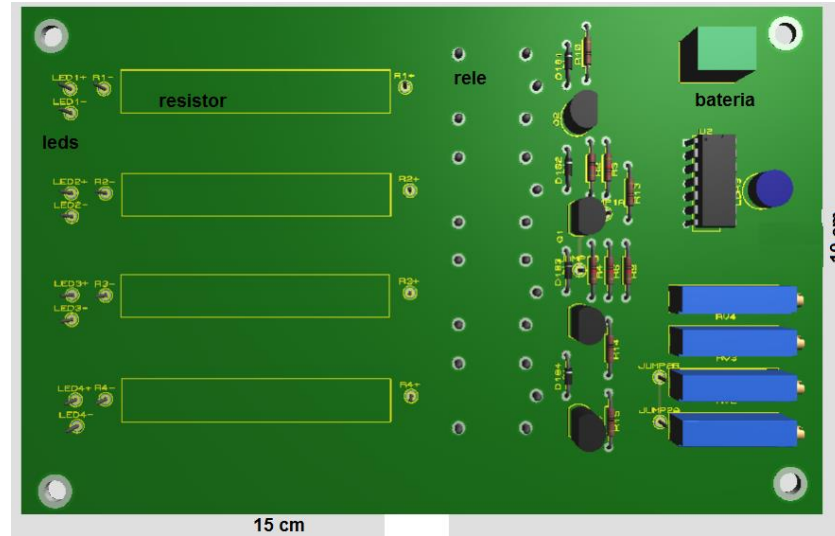


Figura 6– Placa de controle autônomo.

3.1.1.1 Comparador de tensão

A comparação de tensão do circuito de controle da luminária foi realizada pelo CI (circuito integrado) BA 10324A, este componente possui quatro comparadores internos responsáveis, cada um, pela comparação de duas tensões fazendo com que a tensão de saída seja igual a tensão de entrada, levando em consideração o circuito a ser comparado. A Figura 7 mostra o datasheet do CI utilizado.

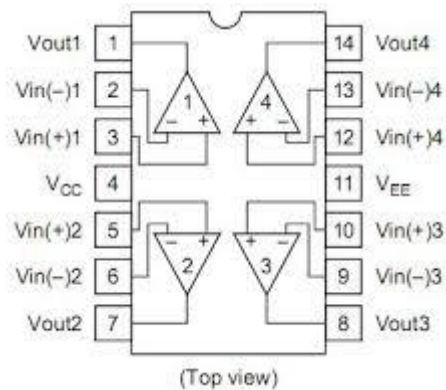


Figura 7– Circuito integrado BA10324A
Fonte: ALLDATASHEET, 2014.

Este CI possui quatorze pinos, onde o pino 4 é destinado para a alimentação positiva, o pino 11 para a alimentação negativa e os demais pinos destinam-se a quatro comparadores de tensão independentes.

Os pinos 3,5,10 e 12 destinam-se a alimentação positiva dos quatro comparadores presentes no CI e os pinos 2, 6, 9 e 13 a alimentação negativa, a saída do sinal dos quatro comparadores encontra-se nos pinos 1, 7, 8 e 14 respectivamente.

3.1.1.2 Sensor de luminosidade

A variação de tensão na entrada positiva do comparador deve-se à presença do sensor de luminosidade LDR (Light Dependent Resistors), que se trata de um resistor dependente de luz. Esse componente eletrônico varia sua resistência de acordo com a luminosidade recebida.

O modelo do LDR utilizado na placa de controle foi o SUNROM 3190, que possui 5mm de diâmetro e suporta até 320 Volts de tensão alternada ou contínua. Sua resistência varia de 600Ω a uma luminosidade de 1000lux a $12\text{k}\Omega$ em 10lux e pode ser observada através da Figura 8.

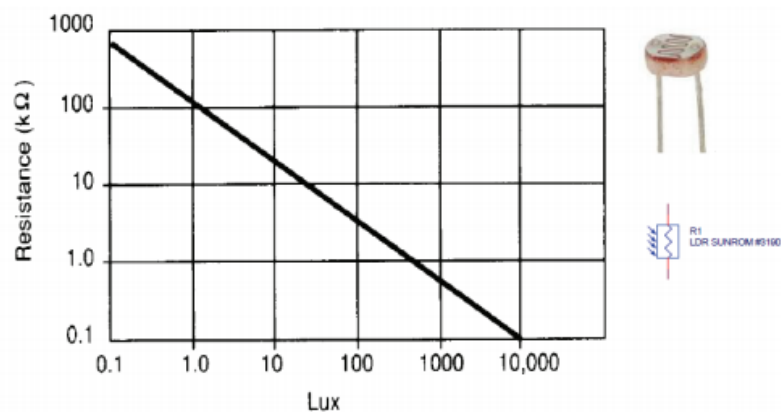


Figura 8– Curva característica do LDR, imagem ilustrativa e o PCB do componente.
Fonte: ALLDATASHEET, 2014.

3.1.1.3 Resistores

Os resistores são componentes eletrônicos responsáveis por limitar a corrente elétrica de um circuito por meio do efeito Joule, que consiste na transformação de energia elétrica em energia térmica. Sua resistência é medida em Ohms (Ω) e a potência consumida em Watts (W).

Na placa de controle foram utilizados dezessete resistores, onde cinco resistores de $10\text{k}\Omega - \frac{1}{4}\text{W}$ são responsáveis pelo sistema de comparação de tensão,

quatro resistores de $1\text{k}\Omega - \frac{1}{4}\text{W}$ são responsáveis pela limitação de corrente dos transistores, quatro resistores de $10\Omega - 10\text{W}$ responsáveis por limitar a corrente que acenderá os LEDs e quatro resistores variáveis (Trimpot) usados para encontrar as resistências ideais (retiradas da Figura 8) para os horários do dia em que deseja-se acender a luminária.

3.1.1.4 Relés

Os relés são interruptores eletromecânicos, que possuem uma movimentação física proveniente da passagem de corrente elétrica pelas espiras de sua bobina, criando assim um campo magnético que por sua vez atrai a alavanca responsável pela mudança do estado dos contatos. Para que o componente não venha a causar uma descarga proveniente da energia armazenada na bobina no sentido reverso, é aconselhável o uso de um diodo para proteger o CI e os transistores.

Neste projeto foram utilizados quatro mili-relés eletromecânicos do modelo RAS-1210 da marca SUN HOLD, de 12Vcc de alimentação, com tensão e corrente nominais de até 250V e 7A respectivamente. Este modelo de relé possui cinco pinos, sendo dois de alimentação, um comum, um normalmente aberto e um normalmente fechado, assim como descrito na Figura 9.

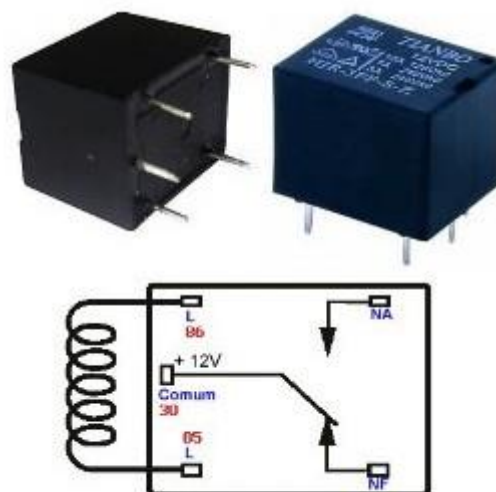


Figura 9–Mili-relé, imagem ilustrativa e o PCB do componente.
Fonte: ALLDATASHEET, 2014.

3.1.1.5 Transistores

Transistores são componentes eletrônicos que podem adotar várias funcionalidades. São utilizados principalmente como amplificadores e interruptores de sinais elétricos, mas também são comumente utilizados como retificadores elétricos.

O processo de funcionamento do componente define-se pela transferência de resistência, alterando a impedância característica do componente para cima ou para baixo da polarização pré-estabelecida. Devido a esta função, a corrente que circula entre o coletor e o emissor do componente irá variar de acordo com os parâmetros estabelecidos no circuito. Esta variação de corrente é realizada em um terminal chamado base, que é o responsável pelo processo de amplificação de sinal.

Neste projeto foram utilizados quatro transistores do modelo BC 639, dispostos entre a saída do CI e uma bobina do mili-relé, proporcionando o pico de corrente necessário para chavear o mili-relé e liberar então, a passagem de corrente para os LEDs.

3.1.1.6 LEDs

O sistema de LEDs é subdividido em quatro grupos de quarenta e cinco LEDs cada totalizando cento e oitenta LEDs (Figura 10). Os LEDs dispostos em cada um dos quatro grupos estão ligados em paralelo e ao serem solicitados pelo sistema de controle são acionados por uma tensão de 12Vcc e uma corrente de 900mA por grupo de LEDs. A corrente é limitada por um resistor de 10Ω - 10W, e dividida igualmente entre os quarenta e cinco LEDs presentes em cada grupo, sendo assim a corrente fornecida para cada LED é de 20mA.

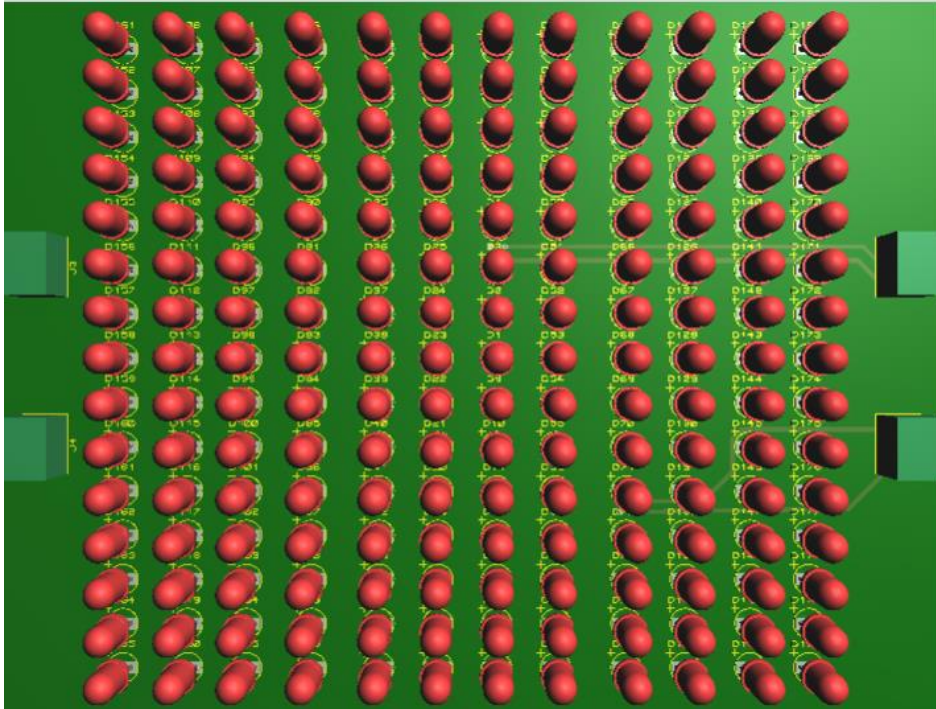


Figura 10– Circuito referente ao sistema de controle da luminária.

3.1.2 Sistema de Controle

O sistema de controle é formado pelos componentes descritos no capítulo 3.1.1, alimentados por uma fonte de 12Vcc e interligados de acordo com o esquema mostrado na Figura 11.

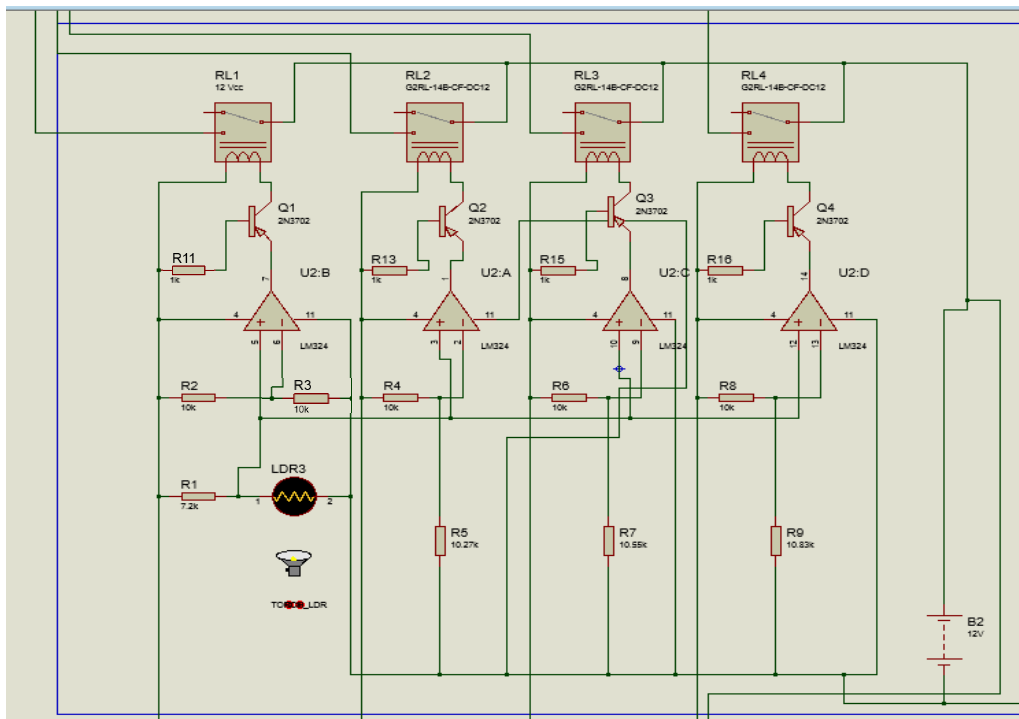


Figura 11– Circuito referente ao sistema de controle da luminária.

3.1.3 Comparador de Tensão

As comparações de tensão do circuito são feitas pelo BA10324A.

A primeira comparação é realizada pelo comparador U2:B do CI, onde a entrada 1 (pino 5) recebe a referência da queda de tensão do resistor R1 (7,2k Ω) e a entrada 2 (pino 6) recebe a referência da queda de tensão do resistor R2 (10k Ω). A saída deste comparador (pino 7) alimentará o relé 1, que por sua vez fechará contato ao receber a tensão de 12Vcc acendendo os primeiros quarenta e cinco LEDs.

A segunda comparação é realizada pelo comparador U2:A, a entrada 1 do comparador (pino 3) recebe a queda de tensão do resistor R1 (7,2k Ω), a entrada 2 do comparador (pino 2) recebe a queda de tensão referente ao resistor R4 (10k Ω). A saída de sinal deste comparador (pino 1) alimentará o relé 2, que por sua vez fechará o contato ao receber a tensão de 12Vcc acendendo mais uma camada de quarenta e cinco LEDs, totalizando 90 LEDs acesos.

A terceira comparação é realizada pelo comparador U2:C, a entrada 1 do comparador (pino 10) recebe a mesma referência dos outros comparadores, a entrada 2 do comparador (pino 9) recebe a queda de tensão do resistor R6 (10k Ω). A saída de sinal deste comparador (pino 8) alimentará o relé 3, que por sua vez fechará o contato ao receber a tensão de 12Vcc acendendo mais uma camada de quarenta e cinco LEDs, totalizando 135 LEDs acesos.

Por fim a quarta e última comparação é realizada pelo comparador U2:D, a entrada 1 (pino 12) recebe a mesma referência dos outros comparadores, a entrada 2 do comparador (pino 13) recebe a queda de tensão do resistor R8(10k Ω). A saída de sinal deste comparador (pino 14) alimentará o relé 4, que por sua vez fechará o contato ao receber a tensão de 12Vcc acendendo mais uma camada de quarenta e cinco LEDs, totalizando o acendimento de 180 LEDs e uma potência total da lâmpada.

3.1.4 Referência de Controle

As quatro etapas de controle são realizadas de acordo com a comparação da queda de tensão sobre os resistores R2, R4, R6 e R8 (todos de $10\text{k}\Omega$) e da queda de tensão presente sobre o resistor R1 ($7.2\text{k}\Omega$).

A queda sobre R2 será de 6V devido a ligação em série com um resistor de mesmo valor R3, a queda sobre R4 será de 5,91V devido a ligação em série com R5 ($10,27\text{k}\Omega$), a queda sobre R6 será de 5,82V devido a ligação em série com R7 ($10,55\text{k}\Omega$) e a queda sobre R8 será de 5,74V devido a ligação em série com R9 ($10,83\text{k}\Omega$).

O sensor LDR identifica a luminosidade ambiente e muda sua resistência de acordo com a quantidade de luz identificada. Para a determinação da variação ôhmica dos Trimpot (R5, R7 e R9) foi utilizado a relação apresentada pelo DATASHEET do componente e realizada a construção de uma nova relação em escalas menores da original. Como observado na Figura 12, a curva característica do componente foi elaborada com valores que variam entre 7176Ω a 150lux e 7784Ω a 220lux atendendo as especificações desejadas.

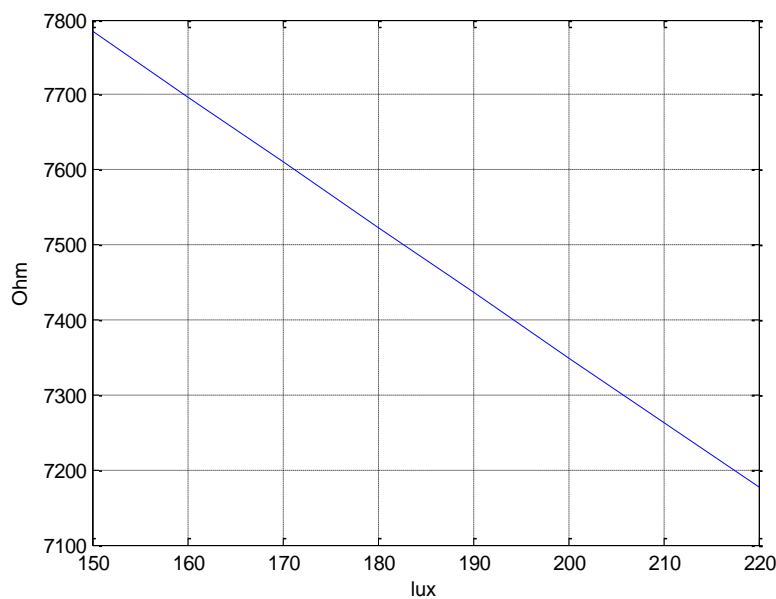


Figura 12– Resistência ôhmica em função da iluminância do LDR

3.1.5 Funcionamento do controle

Para entender o funcionamento do sistema de controle é preciso saber que uma corrente constante, quanto maior a resistência maior será a tensão, como mostra a Equação 1:

$$U = R.I \quad (1)$$

Onde U é a tensão medida em Volts (V), R a resistência medida em Ohms (Ω) e I a corrente medida em Amperes (A).

Os parâmetros de comparação serão determinados pela variação ôhmica proveniente do LDR.

A primeira comparação dar-se-á quando o LDR identificar uma iluminância ambiente abaixo de 210lux , sua resistência será acima de 7263Ω . Como o resistor R1 é de $7,2\text{k}\Omega$, a queda de tensão no LDR será maior do que 6V enquanto a queda em R1 torna-se menor do que 6V devido a ligação em série entre os dois resistores e a alimentação recebida de 12V. A queda de tensão de R1 torna-se então, menor do que a de R2 que permanecerá em 6V devido a sua resistência ser igual a de R3. O CI então faz a primeira comparação, levando em referência a queda de tensão sobre R1 e R2, e no momento em que a queda sobre R1 foi menor do que a sobre R2 a saída do comparador será de aproximadamente 12V, alimentando o transistor que chaveia o relé responsável pelo acendimento dos primeiros quarenta e cinco LEDs.

A segunda comparação segue o mesmo princípio de funcionamento da primeira. Quando o LDR identificar uma iluminância ambiente de aproximadamente 190lux , sua resistência será em torno dos 7436Ω , proporcionando uma queda de tensão sobre R1 de aproximadamente 5,90V. A tensão sobre R1 passa a ser menor que a tensão sobre R4 que é de 5,91V. O CI então faz a segunda comparação chaveando o relé responsável pelo acendimento do segundo grupo de quarenta e cinco LEDs.

A terceira comparação começa quando o LDR identificar uma iluminância ambiente de aproximadamente 170lux , alcançando 7610Ω de resistência e proporcionando uma queda de 5,81V em cima de R1. Neste momento a queda de tensão sobre R1 passa a ser menor que a de R6 que corresponde a 5,82V. O CI realiza a terceira comparação chaveando o relé responsável pelo acendimento do

terceiro grupo de quarenta e cinco LEDs.

A quarta e última comparação irá acontecer quando a iluminância ambiente for menor do que 150lux , proporcionando uma resistência em torno de 7800Ω . Neste momento a queda sobre R1 passa a ser de $5,73\text{V}$ enquanto a queda sobre R8 é de $5,74\text{V}$. O CI então realiza a quarta comparação chaveando o relé responsável pelo acendimento do quarto grupo de quarenta e cinco LEDs.

Após a realização destas quatro etapas a lâmpada permanecerá com seus cento e oitenta LEDs acesos até que a luminosidade ambiente volte a aumentar, neste instante será iniciado o processo contrário ao descrito até que a iluminância ultrapasse novamente os 210lux e a lâmpada apague por completo.

3.1.6 Característica físicas da luminária

A luminária de LED foi adaptada e montada dentro de um refletor retangular para lâmpada halógena de $14 \times 18\text{cm}$ de tamanho frontal e 12cm de profundidade (Figura 13). O sensor LDR e os bornes de entrada foram instalados na parte externa e traseira do refletor (Figura 14).



Figura 13– Imagem frontal da luminária autônoma.



Figura 14– Imagem traseira da luminária autônoma com o sensor LDR e os bornes de entrada.

A corrente real total da luminária é de 2,66A (divididos em 0,665mA para cada grupo de quarenta e cinco LEDs) e a tensão real da luminária é de 8,44V.

A potência (P) pode ser entendida pelo produto da diferença de potencial entre os terminais (U) e a corrente que passa através do dispositivo (I) como mostrado na Equação 2. Se a corrente está em amperes (A) e a tensão em volts (V), a grandeza será medida em watts (W).

$$P = U.I \quad (2)$$

Substituindo os valores reais obtém-se:

$$P = 8,44 \times 0,665 = 5,61W$$

Sendo assim a luminária irá consumir 5,61W para quarenta e cinco LEDs, 11,22W para noventa LEDs, 16,83W para cento e trinta e cinco LEDs e 22,44W para cento e oitenta LEDs.

3.2 BANCO BATERIAS

A bateria é o componente responsável por sustentar um sistema solar em momentos de falta de incidência solar. Para o dimensionamento do banco de baterias é necessário determinar a autonomia prevista para o sistema e a quantidade de energia consumida pela carga, como mostrado na Equação 3.

$$E = P \cdot t \quad (3)$$

Onde E refere-se a energia consumida (Wh), P a potência (W) e t ao tempo em que essa energia permanecerá ligada (h).

Supondo que uma lâmpada de 100W tenha de manter-se acesa por 6 horas, a energia consumida será igual a:

$$E = 100W \times 6h = 600Wh$$

3.2.1 Autonomia prevista

A autonomia refere-se ao número de dias previstos para uma iluminação contínua mesmo com pouca ou com a falta de incidência solar levando em conta o dimensionamento das baterias e a carga exigida.

A lâmpada projetada é acionada em quatro níveis diferentes de potência, dispostos em momentos distintos. Então é necessário determinar o tempo aproximado em que a lâmpada fornece cada uma de suas quatro potências, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Consumo diário da lâmpada (Wh)

Potência (W)	Tempo (h)
5,61	0,5
11,22	0,5
16,83	1
22,44	9

Por meio da Equação 3 e os dados obtidos na Tabela 3, é possível obter quatro consumos de energia diferentes e pela soma deles o consumo total diário da lâmpada.

$$E1 = 5,61 \times 0,5 = 2,8Wh/dia$$

$$E2 = 11,22 \times 0,5 = 5,61Wh/dia$$

$$E3 = 16,83 \times 1,0 = 16,83Wh/dia$$

$$E_4 = 22,44 \times 9,0 = 202 \text{Wh/dia}$$

$$E_{tot} = 227,24 \text{Wh/dia}$$

Segundo Finocchio (2006), o dimensionamento do banco de baterias é obtido por meio da Equação 4:

$$Cap = 1,66 \cdot \frac{E_{tot}}{U} \cdot A_{ut} \quad (4)$$

Onde 1,66: fator de correção de bateria que leva em consideração a profundidade de descarga admitida, o envelhecimento e um fator de temperatura.

E_{tot} : Energia total consumida em Wh/dia.

U: Tensão do sistema.

A_{ut} : Dias de autonomia desejados para o sistema.

Substituindo os valores obtidos na Equação 4 e considerando uma autonomia de 3 dias obtém-se:

$$Cap = 1,66 \cdot \frac{227,24}{12} \cdot 3 = 94,3 \text{Ah}$$

Após dimensionada a capacidade de armazenamento do banco de baterias tornar-se-á imediatamente o valor comercial mais próximo e de preferência superior ao resultado calculado.

3.2.2 Valor do banco de baterias

A bateria escolhida para o projeto foi a bateria estacionária Freedom DF1500 – 93Ah (Figura 15) cujas especificações técnicas encontradas no manual fornecido pela empresa Neosolar estão descritas abaixo:

- Tampa selada evitando escape de eletrólito para o exterior.
- Filtro anti-chamas que permite o escape de gases e impede a penetração de chamas para o interior da bateria.
- Grade com liga de Chumbo-Cálcio-Prata faz com que a bateria Freedom seja a de menor perda de água no mercado e de melhor durabilidade.

- Design da grade radial e reforçado, que permite melhor condução de corrente e melhor durabilidade da bateria em serviço.
- Eletrólito Fluido permite melhor dissipação térmica da bateria, conferindo vantagens em relação a baterias VRLA que são mais sensíveis a variação de temperatura.
- Solda Intercelular com área de solda 36% maior que baterias do mercado e permite melhor condução de corrente e melhor eficiência elétrica da bateria em processo de carga e descarga.
- Placas espessas de alta densidade.
- Separadores de polietileno, em forma de envelope, com alta resistência mecânica.
- Caixa e tampa de polipropileno de alta resistência a impactos, com tampas seladas por fusão do material, sem possibilidade de apresentar vazamentos.
- Indicador de teste que permite imediata visualização das condições da bateria para teste, orientando seu diagnóstico.
- Dimensões: 330x172x240 (mm).
- Peso: 23,9Kg.



Figura 15– Bateria estacionária Freedom DF1500 – 93Ah.
Fonte: NEOSOLAR, 2014.

3.3 PAINEL FOTOVOLTAICO

O painel solar deve ser instalado seguindo alguns parâmetros como latitude, direção e a altura em relação ao nível do mar do local de instalação, estes dados são

necessários para determinar o ângulo de inclinação, o direcionamento adequado do módulo fotovoltaico e o nível de radiação do lugar.

No hemisfério Sul as placas ficarão voltadas para o Norte geográfico, quando o sol alcançar o ponto mais alto de sua trajetória (ponto de máxima potência) sua posição irá coincidir com o Sul geográfico, no hemisfério Norte as placas ficarão voltadas para o Sul geográfico seguindo os mesmos conceitos.

O ângulo de inclinação do painel é obtido pela Tabela 4.

Tabela 4 - Tabela de instalação do painel fotovoltaico

Latitude	Ângulo de inclinação
0 a 4 graus	10 graus
5 a 20 graus	Latitude + 5 graus
21 a 45 graus	Latitude + 10 graus
46 a 65 graus	Latitude + 15 graus
66 a 75 graus	80 graus

Fonte: FINOCCHIO, 2006.

Dado que a energia produzida pelo módulo fotovoltaico é influenciada pelas variações de radiação solar, a corrente armazenada na bateria é reproduzida como apresentado na Figura 16.

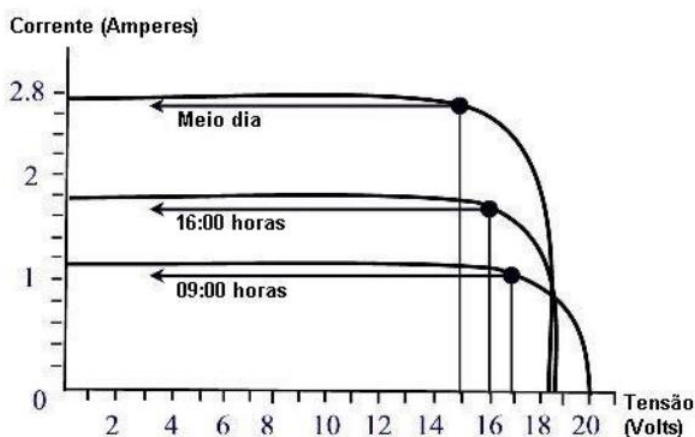


Figura 16– Relação de carga em distintos horários do dia.
Fonte: FINOCCHIO, 2006.

Para este projeto será utilizado um painel fotovoltaico de 70W – 12V (Figura 18), capaz de produzir diariamente 350Wh sob condições ideais de insolação (5 horas

de pleno sol), instalado a um ângulo de 33° (10° a mais que a latitude de Cornélio Procópio) e voltado para o Norte geográfico. As especificações técnicas do painel são apresentadas na Tabela 5.

Potência Máxima (Pmax)	70W
Corrente Nominal (Imp)	3,98A
Tensão Nominal (Vmp)	17,6V
Corrente de Curto-circuito (Isc)	4,32A
Tensão de Circuito aberto (Voc)	22,2V
Dimensões	774 x 660 x 42
Peso	8kg
Material	Alumínio e Vidro
Eficiência	13,7%

Fonte: MINHA CASA SOLAR, 2014



Figura 17– Imagem do painel fotovoltaico de 70W – 18V.
Fonte: MINHA CASA SOLAR, 2014.

3.4 CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga escolhido para o projeto foi o modelo Digital Pwm 10A 12-24V com dimensões de 133x70x25(mm) e 6 terminais de instalação divididos entre o módulo fotovoltaico, a bateria e a carga como mostra a Figura 18.



Figura 18– Imagem do controlador de carga utilizado.

Este controlador possui três indicadores de LED responsáveis por:

1. **Indicação de alimentação:** A luz indicadora de energia solar permanece acesa.
2. **Indicação de armazenamento:** Quando a bateria está totalmente carregada a luz acende na cor verde, se a luz verde piscar é sinal de que a bateria alcançou seu ponto de carga máxima e o controlador está bloqueando sua carga. Quando a luz ficar vermelha é sinal de que a bateria está com sua carga baixa, se a luz vermelha começar a piscar significa que a bateria está esgotada e o controlador irá interromper a descarga.
3. **Indicação de fornecimento:** Quando a carga está em estado normal de trabalho, a luz indicadora está acesa continuamente.

Um display duplo de sete segmentos é responsável por mostrar o modo de operação escolhido. Para acessar o modo de operação basta pressionar o botão “key” por três segundos e escolher a opção desejada. O modo de operação pode ser

programado de quatro maneiras diferentes (citados abaixo) divididos em 18 modos de operação, apresentados na Tabela 6.

1. **Controle de iluminação:** Sem a luz do sol a intensidade da luz volta para o ponto inicial. Em seguida, o controlador reconhece o sinal de partida e acende a lâmpada após trinta segundos. O mesmo procedimento acontece ao reconhecer novamente a luz do sol onde o controlador desligará a lâmpada após trinta segundos.
2. **Controle de Tempo:** O procedimento de partida é o mesmo do de controle de iluminação pura com a diferença que neste modo pode-se programar o tempo em que a carga ficará ativa.
3. **Modo manual:** Independente do dia ou da noite, os usuários podem controlar a carga ligada e carga desligada por *key-press*. Este modo é usado para alguma carga especial ou para uma carga a qualquer momento (24 horas).
4. **Modo de teste:** Este modo é projetado para regular o sistema. Seguindo o procedimento inverso do modo 1 sem o atraso de trinta segundos, ou seja, enquanto tiver luz a lâmpada permanecerá acesa.

Tabela 6 - Programação do controlador de carga

Modo	Tarefa
00	Anoitecer ao amanhecer, a luz está em toda a luz
01	Uma hora de luz, ligar depois do pôr do sol
02	2 horas de luz, ativar após o anoitecer
03	3 horas de luz, ativar após o anoitecer
04	4 horas de luz, ativar após o anoitecer
05	5 horas de luz, ativar após o anoitecer
06	6 horas de luz, ativar após o anoitecer
07	7 horas de luz, ativar após o anoitecer
08	8 horas de luz, ativar após o anoitecer
09	9 horas de luz, ativar após o anoitecer

10	10 horas de luz, ativar após o anoitecer
11	11 horas de luz, ativar após o anoitecer
12	12 horas de luz, ativar após o anoitecer
13	13 horas de luz, ativar após o anoitecer
14	14 horas de luz, ativar após o anoitecer
15	15 horas de luz, ativar após o anoitecer
16	Modo manual
17	Modo de teste, luzes acesas depois de detectar nenhuma luz, luzes apagadas depois de detectar luz.

Fonte: Manual do componente.

Como a luminária utilizada é responsável pelo controle do acionamento e desligamento da iluminação, o controlador de carga deverá ser programado no modo manual (modo 16) permitindo que o controle de carga e descarga seja feito de acordo com a necessidade do sistema.

4 PROTÓTIPO

Um protótipo do poste solar em menor escala foi construído afim de testes e exposição do projeto, (Figura 19) com uma autonomia de aproximadamente duas horas com potência máxima.

O poste possui 1,70 metros de altura e é constituído por um painel solar de 10W-18V, um controlador de carga 12/24V-10A, uma bateria selada de 7Ah e a luminária autônoma descrita do Capítulo 3.1.



Figura 19– Foto do protótipo do poste solar.

O custo de produção do protótipo está descrito na Tabela 7. Os índices de luminosidades foram obtidos por meio do uso de um luxímetro Instrutherm-LD209 a 1,70 metros de distância e comparados com a lâmpada produzida por Alves (2013) a 0,75 metros, os resultados obtidos foram satisfatórios e encontram-se na Tabela 8.

Tabela 7 – Custo de produção do protótipo.

Qt.	Valor Und.	Componente	Total
180	R\$ 0,80	LED branco de alto brilho 5mm	R\$ 144,00
1	R\$ 2,61	Placa fenolite 10x15cm	R\$ 2,61
1	R\$ 6,00	Placa fenolite 12x16cm	R\$ 6,00
4	R\$ 1,19	Rele 12V 10A 5 pinos	R\$ 4,76
5	R\$ 0,08	Resistor 10kΩ 1/8W	R\$ 0,40
4	R\$ 0,08	Resistor 1kΩ 1/8W	R\$ 0,32
4	R\$ 2,50	Resistor 10Ω 10W	R\$ 10,00
3	R\$ 1,56	Trimpot 15 voltas 20k	R\$ 4,68
1	R\$ 1,56	Trimpot 15 voltas 10k	R\$ 1,56
1	R\$ 3,00	BA 10324 ^a	R\$ 3,00

1	R\$ 0,59	LDR 5mm	R\$ 0,59
1	R\$ 1,00	Soquete CI	R\$ 1,00
4	R\$ 0,29	Diodo	R\$ 1,16
4	R\$ 0,50	Transistor BC 639	R\$ 2,00
2	R\$ 2,00	Bornes Fêmea	R\$ 4,00
2	R\$ 2,00	Bornes Macho	R\$ 4,00
1	R\$ 19,00	Refletor Retangular para Lâmpadas Halógenas – Preto	R\$ 19,00
Parcial Luminária			R\$ 209,08
1	R\$ 70,00	Bateria Selada 12v-7Ah	R\$ 70,00
1	R\$ 75,00	Controlador de Carga 12/24V-10A	R\$ 75,00
1	--	Painel Fotovoltaico 10W (cedido pela Universidade)	--
1	R\$ 50,00	Estrutura do Poste	R\$ 50,00
Total			R\$ 404,08

Tabela 8 – Iluminância por número de LEDs.

Nº de LEDs	Potência (W)	Iluminância – Alves (2013) (lux)	Iluminância (lux)
45	5,61	70	68
90	11,22	135	179
135	16,83	200	283
180	22,44	270	355

Comparando também a iluminância do poste a máxima potência com os postes oferecidos por duas das maiores revendedoras de sistemas solares encontradas no mercado nacional, Neo Solar e Solar Garden, obtém-se um resultado dentro dos padrões comercializados, como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparação dos postes comercializados.

Empresa	Potência (W)	Altura Luminária (m)	Iluminância (lux)
Solar Garden	10	3	30
Neo Solar	24	5	37
Protótipo Teste 1	22,44	3	125
Protótipo Teste 2	22,44	5	39

5 RETROFIT

Este trabalho visa atender as necessidades da Cia Café Iguaçu Solúvel, proporcionando um projeto de melhorias para o sistema de iluminação de seu estacionamento.

Devido ao fato de o ambiente estudado já conter postes tradicionais instalados, não haverá um projeto de substituição de postes, mas a adaptação dos postes já existentes para transformá-los em postes solares, reduzindo assim significativamente o custo do investimento.

Para a realização do retrofit foi necessário saber o tipo de lâmpada usada, o custo anual com assistência naquela área, o tipo de tarifa contratada e a quantidade de postes.

5.1 CONSUMO

Os cálculos de consumo deverão levar em conta a potência consumida por cada lâmpada, as horas diárias de uso e o valor pago pelo kWh.

5.1.1 Análise das lâmpadas

As lâmpadas utilizadas para a iluminação do estacionamento são lâmpadas de Vapor de Sódio de 70W, com reator tipo RVS-70. Para este tipo de lâmpada é necessário observar também as perdas ôhmicas presentes no reator, mostradas na Tabela 10.

Tabela 10 – Perdas ôhmicas nos reatores convencionais.

Tipo de reator	Potência absorvida da rede (W)	Potencia fornecida a lâmpada	Perdas individuais (W)
RVS-70	85	70	15
RVS-100	118	100	18
RVS-150	176	150	26
RVS-250	287	250	37
RVS-400	446	400	46

Fonte: CELG, 2006.

Supondo que cada lâmpada fique acesa por 12 horas diárias e com o consumo de 85W, de acordo com a Equação 3 cada lâmpada consumirá aproximadamente 1,02kWh/dia, 30,6kWh/mês e 367,2kWh/ano (cálculo mensal considerando trinta dias). Levando em consideração que o ambiente estudado possui 9 postes com 1 lâmpada cada, sua potência anual encontra-se em torno de 3304,8kWh/ano.

5.1.2 Análise da Tarifa

A tarifa contratada pela Cia Café Iguaçu é a Horo-sazonal Azul que tem suas tarifas expressas na Figura 20.

Horo-sazonal AZUL		Resolução ANEEL N° 1.763,	
A3 (69 kV)		de 22 de julho de 2014	
P.P.Estadual			
Tarifas	Resolução	com Impostos:	
	ANEEL	PIS/COFINS	
Demanda (R\$/kW)			
Ponta	9,16	9,59	
Fora de Ponta	2,14	2,24	
Ultrapassagem Ponta	18,32	19,18	
Ultrapassagem Fora de Ponta	4,28	4,48	

Figura 20 – Tarifa Horo-sazonal Azul.

Fonte: Copel, 2014.

O período de Ponta equivale a três horas diárias estimadas entre 19:00h e 22:00h no horário de verão e 18:00h e 21:00 no horário normal, o período Fora de Ponta equivale as demais horas diárias restantes.

Dividindo a potência consumida pelos seus respectivos horários de diferentes tarifas obtém-se a Tabela 11 que mostra valores referentes ao consumo com e sem ultrapassagem de demanda.

Tabela 11 – Relação tarifa e seu respectivo consumo.		
Demanda	Valor	Potência consumida mensalmente (kW)
Ponta	R\$ 9,59	7,65
Fora de Ponta	R\$ 2,24	22,95
Ultrapassagem Ponta	R\$ 19,18	7,65
Ultrapassagem Fora de Ponta	R\$ 4,48	22,95

Para determinar o consumo mensal por ponto de luz multiplica-se o valor pago pela tarifa de Ponta e Fora de Ponta pelas suas respectivas potências consumidas, e

soma-se os resultados. Na Tabela 12 é possível observar o valor pago para o consumo normal e para o consumo ultrapassado.

Tabela 12 – Valor mensal pago por ponto de luz.

Custo mensal	
Demanda Normal	R\$ 124,77
Demanda Ultrapassada	R\$ 249,54

Levando em consideração que para os cálculos de consumo foi considerada a Demanda Normal para a obtenção de valores mínimos de consumo. Ao multiplicar o valor referente ao custo mensal da demanda normal (R\$ 124,77) por doze meses obtém-se o valor do consumo anual por ponto de luz, que seria o equivalente a R\$1497,24.

5.1.3 Análise da Manutenção

A manutenção da Cia Café Iguaçu Solúvel é realizada por meio de uma empresa terceirizada (Cia Iguaçu Mec), os valores cobrados por seus serviços encontram-se expressos na Tabela 13.

Tabela 13 – Tarifas pagas por materiais e serviços prestados.

Descrição	Valor
Hora Homem	R\$ 54,00
Hora Caminhão Munck	R\$ 100,00
Reator	R\$ 81,00
Lâmpada 70W	R\$ 10,00

De acordo com o engenheiro eletricista responsável, são gastos em média R\$1000,00 anuais com a manutenção da iluminação. Tomando como exemplo o ano de 2013, onde foram trocadas três lâmpadas de 70W e seus respectivos reatores, o custo total da manutenção foi de R\$897,00.

5.2 POSTES

Como o retrofit estudado é voltado para uma empresa privada, onde centavos determinam o arquivamento ou execução de um investimento, é de melhor decisão

adaptar os postes convencionais e transforma-los em postes solares, evitando assim gastos com novos postes e com a mão de obra responsável em retirar os postes antigos e instalar os postes novos. O modelo de adaptação para tais postes encontra-se no Anexo A.

6 ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Na Tabela 14 encontra-se registrado os valores referentes ao investimento por unidade de poste solar adaptado com os valores cotados no mercado em outubro de 2014, considerando que estes valores podem variar para mais ou para menos de acordo com a quantidade e loja cotadas.

Tabela 14 – Investimento Retrofit.

Descrição	Valor
------------------	--------------

Luminária Autônoma	R\$ 209,80
Controlador de Carga	R\$ 75,00
Painel Fotovoltaico 70w-18V	R\$ 519,00
Adaptações no poste	R\$ 150,00
Bateria Estacionária 93Ah 12V	R\$ 386,91
TOTAL	R\$ 1340,71

O investimento total para a adaptação de um poste convencional para poste solar é estimado em R\$1340,71. O investimento é relativamente baixo, levando em consideração que postes solares são vendidos no mercado com o valor entre R\$6000,00 e R\$7000,00 (NEOSOLAR, 2014) e que os postes existentes na companhia estudada consomem anualmente pelo menos o equivalente a R\$1497,24 sem falar na vida útil do equipamento que é de vinte anos (MINHACASASOLAR, 2014) com exceção da bateria que perde rendimento a partir de cinco a seis anos de uso (NEOSOLAR, 2014).

6.1 BENEFÍCIOS

Dentre os fatores positivos encontrados com a elaboração do retrofit, destacam-se:

- Economia energética de pelo menos R\$1497,24 anuais por ponto de luz;
- Economia quanto a manutenção do equipamento que possui vida útil alta;
- Iluminação contínua, mesmo em dias com falta de energia elétrica;
- Melhora no fator de potência devido a retirada dos reatores existentes;
- Boa localização quanto à incidência solar (Figura 1);
- Adaptação dos postes existentes, proporcionando baixo custo de investimento;
- Retrofit pago em um ano pelo consumo economizado;
- Luminária autônoma proporcionando uma maior economia;
- Ângulo de instalação da luminária variável, podendo ser ajustada de acordo com as necessidades encontradas;

7 CONCLUSÃO

O consumo de energia elétrica no Brasil vem aumentando cada dia mais, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que divulgou o estudo de previsões energéticas para o período 2014-2023, o consumo de energia do país deve crescer 4,3% ao ano, atingindo 781,7TWh em 2023, contra os atuais 514TWh, este fato pode agravar-se ainda mais com grandes períodos de estiagem e a necessidade cada vez maior do uso de termoelétricas.

Projetos autossustentáveis são uma maneira de absorver os impactos gerados por este aumento, aplicando soluções de produção de energia limpa e

abundante, como a energia solar, em setores muito utilizados no nosso dia-a-dia, como a iluminação pública.

Este trabalho apresentou o estudo de um retrofit de iluminação com energia limpa para o estacionamento de uma empresa privada. Para desenvolver esse estudo, foram utilizados dados cedidos pela Cia Café Iguaçu Solúvel visando encontrar um investimento que trouxesse benefícios na iluminação e principalmente financeiros.

Com isso, foram levantados conceitos de Engenharia de Iluminação e aplicações em eletrônica para a obtenção da melhor eficiência possível tanto por parte da luminária confeccionada, quanto do poste solar como um todo.

Os resultados obtidos neste projeto foram satisfatórios, pois para o local estudado o poste adaptado projetado, caso seja implantado, terá o seu investimento pago em um curto período de tempo, proporcionando a partir deste momento uma economia total na relação Investimento vs. Retorno.

É de papel da Cia Café Iguaçu Solúvel analisar as tabelas de custo e determinar a execução ou não do retrofit.

Para o estudo em questão, foram considerados os padrões mínimos que constam nas normas em vigor para as questões de iluminação de ambientes, visando obter uma melhor iluminação para um menor consumo possível. Mesmo reduzindo potência para maximizar a autonomia do sistema, os resultados luminotécnicos encontrados foram equivalentes e em alguns casos até melhores do que os sistemas produzidos e comercializados nacionalmente.

Por fim, o principal intuito deste projeto é abordar uma forma de contribuição social, possibilitando uma alternativa para a diminuição do consumo energético do país, da poluição visual provocada por cabos e transformadores e da poluição proveniente da geração de energia por queima de combustíveis fósseis.

7.1 PERSPECTIVAS FUTURAS

As perspectivas futuras para esse trabalho estão listadas abaixo:

- Melhora no projeto da luminária:
 - Aumento da sua eficiência luminosa com a troca do tipo de LED utilizado.

- Eliminação das perdas ôhmicas no limitador de tensão.
- Troca de componentes de pouca vida útil (mili-relés) por componentes mais duradouros.
- Incubação do projeto na Incubadora Tecnológica afim de comercializar o produto desenvolvido.

REFERÊNCIAS

Agência Internacional de Energia. **Relatório Estatístico mensal sobre eletricidade.** Disponível em: <http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2014/may/name-108223-en.html>. Acessado em mai. 2014.

ALVES, Luiz Guilherme. **Luminária de LED com controle Automatizado de Luminosidade.** 2013. 62. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em

Automação Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2013.

COPEL. **Tarifas.** Disponível em: <
<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fb8b44d514d3aacda03257488005939f1>>. Acessado em: out. 2014.

CELG, Companhia Energética de Goiás. **Crítérios de Projetos de Iluminação Pública.** NTC-14. Goiás, 2006. 31 p.

ECOD. **China desbanca Alemanha e assume liderança mundial em energia solar.** Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2013/julho/china-desbanca-alemanha-e-registra-producao?tag=energia>> Acessado em: dez. 2013.

EPE, Empresa de Pesquisa Tecnológica. **Demanda de energia crescerá 4,3% por ano até 2023.** Disponível em: <
<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2014-01/epe-demanda-de-energia-crescera-43-por-ano-ate-2023>>. Acessado em: out. 2014.

FINOCCHIO, Marco A. F. **Curso de energia solar fotovoltaica.** Apostila Interna do Curso de Engenharia Elétrica. Cornélio Procópio: UTFPR, 2006.

FREITAS, Eduardo. **Efeito Estufa.** Disponível em:
<<http://www.brasilecola.com/geografia/efeito-estufa.htm>> Acessado em: fev. 2014.

GNOATTO, Estor; DALLACORT, R.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; FERRUZI, Y. **Determinação da curva característica de um painel fotovoltaico em condições reais de trabalho.** Acta Scientiarum Technology, vol. 27, n. 2, p. 191-196, 2005.

GREENPEACE. **Energias renováveis contra o aquecimento global.** Disponível em:
<<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/O-que-fazemos/Clima-e-Energia/>> Acessado em: ago. 2013.

IAR-UNICAMP. **LED – O que é, e como funciona.** Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/dicasemail/led/dica36.htm>>. Acessado em: set. 2014.

IEA, Tracking Clean Energy Progress 2013. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/TCEP_web.pdf>. Acessado em: mar. 2014.

LED DEPOT, **LED ou Vapor de Sódio?** Disponível em: <<http://leddepot.com.br/duvidas/led-ou-vapor-de-sodio.html>> Acessado em: mar. 2014.

LOEB, Rodrigo M. **Painéis solares fotovoltaicos.** Tecnologias de Micro-geração de sistemas periféricos, pp. 48-52, 2006.

MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br>>. Acessado em: out. 2014.

MONTEIRO, Luis Guilherme; ZILLES, Roberto. **Estratégias de controle de carga em pequenos sistemas fotovoltaicos.** In *Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural*, 2004, Campinas.

MONTGOMERY, James. **Germany's New Solar Containment Policy**, World.com, 2012. Disponível em: <<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/02/germanys-new-solar-containment-policy?page=2>>. Acessado em: fev. 2014.

MOREIRA, Carlos E. S.; CARDOSO, Alan M. **Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente.** Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. v. 1, p. 397-402, 2010.

NEOSOLAR Energia. **Baterias estacionárias.** Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br>>. Acessado em: set. 2014.

PALZ, Wolfgang. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 1995.

POMERMAYER, M. L. **Programas de Eficiência Energética das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica: Resultados, Desafios e Perspectivas**. Apresentação ao workshop Panorama e Perspectivas da Eficiência Energética – Fundação COGE. Rio de Janeiro: ANEEL, 2007.

RIBEIRO, Francisco de A. P. **Projeto de um sistema fotovoltaico para iluminação pública**. 2002. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.

REGINO, Arli Alves; ANDRADE, José Celso B. de. **Proposta de conservação de energia através de retrofit**. Eletricidade Moderna, São Paulo, ago. 2002, nº 341, p. 46-57.

RIBEIRO, Francisco de A.P. **Projeto de um sistema fotovoltaico para iluminação pública**. 2002. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.

ROSA, L. P.; TOLMASQUIM, M. T. e PIRES, J. C. L. **A Reforma do Setor Elétrico no Brasil e no Mundo: Uma Visão Crítica**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1998.

SANTOS, M. A. et al. **Avaliação da vida útil das lâmpadas a vapor de sódio de 70W**. Revista Brasileira de Energia, Vol.15, Nº 1, pp. 71-87, 2009.

SHEER, HERMANN. **Economia Solar Global: Estratégia para a Modernidade Ecológica**. CRESEB-CEPEL, Rio de Janeiro, 2002.

TEIXEIRA, André. **Primeira usina solar comercial do Brasil atrai negócios para o Ceará**. Disponível em: < <http://g1.globo.com/ceara/noticia/2011/12/primeira-usina-solar-comercial-do-brasil-atrai-negocios-para-o-ceara.html>>. Acessado em: set. 2013.

WU, Libo. Et al. Implementation of a Stand-alone Photovoltaic Lighting System with Maximum Power Point Tracking and High Pressure Sodium Lamp. **IEEE Transactions**

on **Industrial Electronics**, vol. 55, p. 1570-1573, 2003.

ANEXO A - Poste convencional adaptado para poste solar.

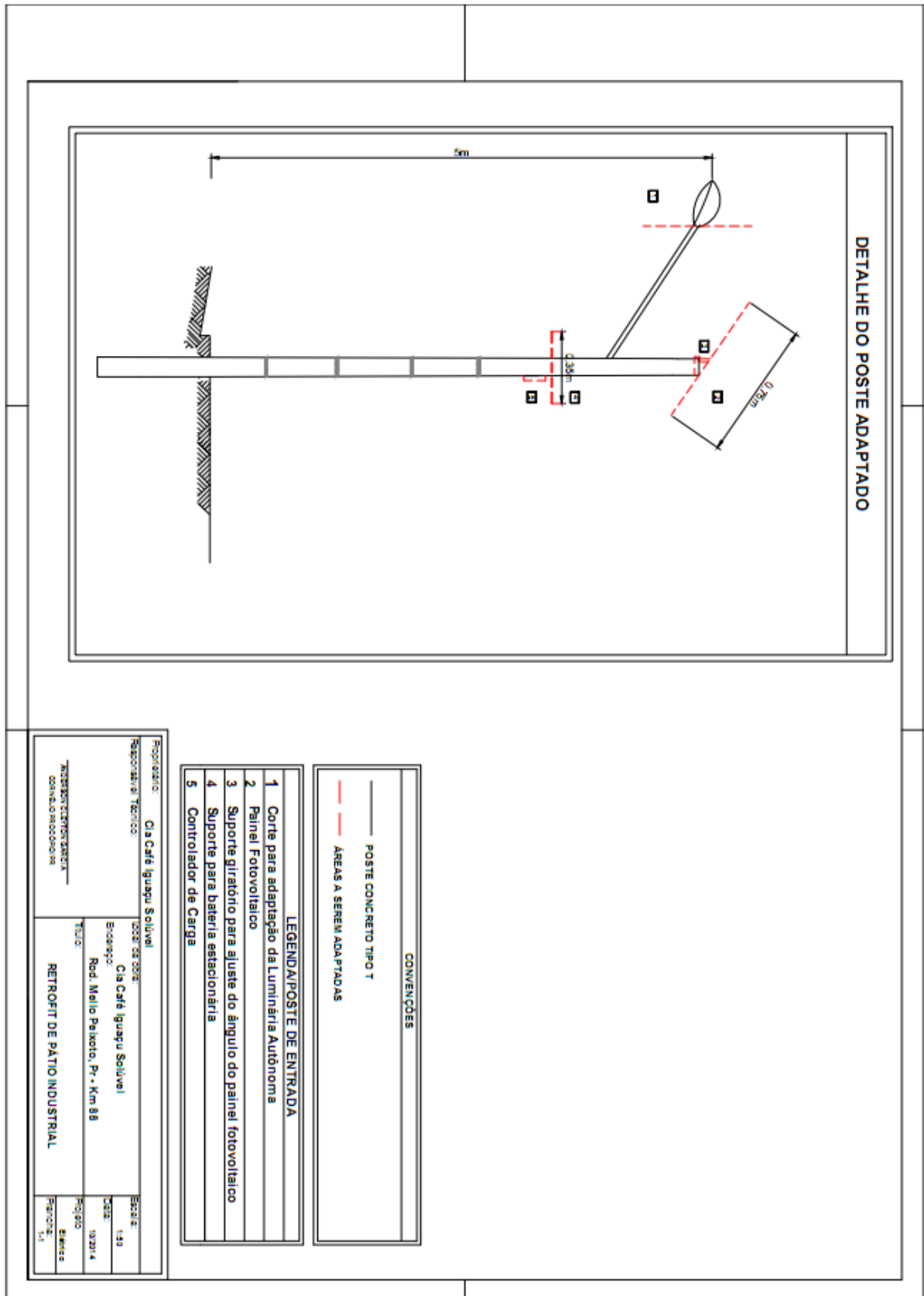


Figura 21 – Projeto de adaptações para transformação de um poste convencional em um poste solar.