



UNIARA

Universidade de Araraquara

A ADOÇÃO DA ENERGIA SOLAR COMO FATOR PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, COM ÊNFASE NA IMPLEMENTAÇÃO DE USINAS SOLAR FOTOVOLTAICA PARA ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL

THE ADOPTION OF SOLAR ENERGY AS A FACTOR FOR ENERGY EFFICIENCY, WITH EMPHASIS ON THE IMPLEMENTATION OF SOLAR PHOTOVOLTAIC PLANTS TO POWER THE INDUSTRIAL LIGHTING SYSTEM

LA ADOCIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR COMO FACTOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, CON ÉNFASIS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS SOLARES FOTOVOLTAICAS PARA ALIMENTAR EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN INDUSTRIAL

Vinicius de Almeida da Silva¹, Antônio Pinto do Nascimento Neto², Fabiana Florian³

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i12.2484>

PUBLICADO: 12/2022

RESUMO

Este trabalho de licenciatura está orientado para a análise da iluminação em espaços exteriores através de geração fotovoltaica autônoma de modo a promover a economia e eficácia energética na iluminação externa de uma residência, também para poder transmitir conhecimentos sobre a utilização do sistema elétrico por energia solar. Os métodos de pesquisa utilizados foram a análise teórica, através de pesquisa bibliográfica dos fundamentos sobre energia solar fotovoltaica, iluminação industrial e microcontroles para este tipo de sistemas de iluminação, seguindo então com o método experimental, que consiste na realização de testes de operação e das medições das variáveis elétricas, dimensionamento de energia e comparação entre os resultados calculados na parte teórica e os dados obtidos na parte experimental. Uma das conclusões mais relevantes do desenvolvimento do projeto é que através do desenho deste sistema, se obtém alta eficiência no sistema de iluminação e economia de energia, já que a lâmpada LED é controlada para que funcione de acordo com a programação dada, o tempo de atuação e a intensidade do fluxo luminoso. Através dessas funções o sistema permite que a bateria não se esgote durante o período de trabalho, podendo armazenar mais energia a cada dia, sem ser totalmente descarregada.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento de energia. Insolação solar. Iluminação industrial. LED. Pannel Fotovoltaico.

ABSTRACT

This degree work is oriented towards the analysis of lighting in outdoor spaces through autonomous photovoltaic generation in order to promote energy savings and efficiency in the external lighting of a residence, also to be able to transmit knowledge about the use of the electrical system by solar energy. The research methods used were theoretical analysis through bibliographical research of the fundamentals of photovoltaic solar energy, industrial lighting and microcontrols for this type of lighting systems, then following with the experimental method that consists of carrying out operation tests and taking the data measurements of electrical variables, energy dimensioning and then make a comparison between the results calculated in the theoretical part and the data obtained in the experimental part. One of the most relevant conclusions of the development of the project is that, through the design of this system, high efficiency is obtained in the lighting system and energy savings since the LED lamp is controlled so that it works according to the given programming, the time of operation and the intensity of the luminous flux and through these functions the system allows the battery not to run out during the period of its work, being able to store more energy each day without being completely discharged.

KEYWORDS: Power sizing. Solar insolation. Industrial lighting. LED. Photovoltaic panel.

¹ Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

² Orientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

³ Coorientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

RESUMEN

Este trabajo de grado está orientado al análisis de la iluminación en espacios exteriores a través de la generación fotovoltaica autónoma con el fin de promover la economía y la eficiencia energética en la iluminación exterior de una residencia, también para poder transmitir conocimientos sobre el uso del sistema eléctrico por la energía solar. Los métodos de investigación utilizados fueron el análisis teórico, a través de la investigación bibliográfica de los fundamentos sobre energía solar fotovoltaica, iluminación industrial y microcontroladores para este tipo de sistemas de iluminación, seguido del método experimental, que consiste en realizar pruebas de operación y mediciones de variables eléctricas, dimensionamiento de energía y comparación entre los resultados calculados en la parte teórica y los datos obtenidos en la parte experimental. Una de las conclusiones más relevantes del desarrollo del proyecto es que a través del diseño de este sistema, se obtiene una alta eficiencia en el sistema de iluminación y ahorro energético, ya que la lámpara LED está controlada para que funcione según la programación dada, el tiempo de funcionamiento y la intensidad del flujo luminoso. A través de estas funciones el sistema permite que la batería no se agote durante el periodo de trabajo, pudiendo almacenar cada día más energía, sin estar completamente descargada.

PALABRAS CLAVE: *Dimensionamiento de potencia. Golpe de calor solar. Iluminación industrial. LED. Panel fotovoltaico.*

1. INTRODUÇÃO

O demasiado crescimento da população, a enorme geração de resíduos, o uso irracional e sem controle dos recursos naturais, as formas atuais de geração de energia elétrica com base no uso de combustíveis fósseis (emissores de gases de efeito estufa) têm sido fatores ofensivos à natureza, resultando no aquecimento global e acarretando na deterioração dos polos, aumento do nível do mar, entre outros problemas prejudiciais ao ecossistema.

Os meios de geração de eletricidade no setor industrial brasileiro e mundial usufruem de fontes não renováveis, mesmo com o enorme impacto ambiental gerado não é possível atender toda a demanda energética nas Zonas Não Interligadas (áreas distantes das redes de distribuição).

Segundo o IPSE (instituto de planejamento e promoção de soluções energéticas para áreas não interligadas) a vida cotidiana nesses setores impossibilita o desenvolvimento social, econômico e tecnológico, oportunizando a insegurança, o crescimento de atividades não legais e, portanto, reprimindo a qualidade de vida de seus habitantes.

Atualmente, devido à quantidade decrescente de recursos de energia renovável, os dez últimos anos se tornaram mais importantes para o custo por watt do dispositivo de energia solar. Em tese, a energia solar possui capacidade de recursos que excede em muito o consumo mundial de energia. Apesar desse potencial técnico e da atual expansão do mercado, o apoio da energia solar para o composto mundial de provimento de energia ainda é mínimo.

Alguns estudos, como Arvizu *et al.*, (2011), abordaram questões relacionadas à energia solar. Este artigo apresenta uma revisão de síntese da literatura existente, bem como uma análise econômica para examinar a competitividade da energia solar com contrapartes em energia fóssil. Esse artigo demonstra que, mesmo com uma grande queda nos custos de capital e uma crescente nos preços dos combustíveis fósseis, a engenharia da energia solar ainda não consegue competir com as técnicas convencionais para geração de eletricidade.

Além disso, pretende descrever a produção da energia fotovoltaica, expondo sua estrutura

industrial, seu potencial, seus custos, assim como o amparo social que essa tecnologia possui e as vantagens oferecidas consequentes da sua adoção no contexto industrial. O trabalho busca desenvolver os conhecimentos obtidos na corrida gerando uma contribuição social a uma comunidade vulnerável, alimentando o fornecimento de energia na iluminação de forma a incentivar a criação de um ambiente sustentável que permita o desenvolvimento social da empresa e da comunidade.

1.1 PROBLEMA

Conforme abordado nos parágrafos anteriores, as principais fontes de energia utilizadas atualmente são os combustíveis fósseis, que apresentam um grande consumo e, em conjunto, a dependência mundial. Isso fez com que a natureza fosse prejudicada por sua geração e uso, além de apresentar uma inconveniência muito importante, por serem fontes de energia esgotáveis.

Deste problema global de ter fontes melhores e mais eficientes de energia alternativa que prejudiquem o meio ambiente ao mínimo e que cubram as necessidades energéticas existentes, juntamente com o carecimento de fornecer melhores modelos de inovação que permitissem o desenvolvimento deste tipo de energia.

Do ponto anterior, o principal problema é dividido, o que se explica em mais detalhes a seguir:

- Um deles foi um modelo de Inovação, onde os processos de gestão, das atividades que envolvem o desenvolvimento tecnológico em todas as suas etapas, atendem ao objetivo primordial, que é melhorar o vínculo entre pesquisa científica-indústria de forma que através de estratégias tecnológicas adequadas, as atividades de pesquisa e os resultados científicos sejam garantidos e com isso haja uma transferência tecnológica adequada nas entidades produtivas;
- Através do conhecimento derivado da análise e interpretação do estudo do desenvolvimento tecnológico, no campo da energia fotovoltaica é feita uma comparação entre outros sistemas de iluminação autônomos e o sistema proposto neste trabalho, para ver o comportamento no impacto do processo social e económico das novas tecnologias em energias renováveis neste setor.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar os sistemas de geração de eletricidade por meio de energia solar fotovoltaica a serem implantados, utilizando uma lâmpada LED que através de um sistema de controle, permite seu acionamento e economia de energia moderando a quantidade de fluxo luminoso adotado no setor industrial brasileiro.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma análise comparativa desta tecnologia no setor de energias renováveis em sistemas fotovoltaicos.
- Projetar um sistema elétrico fotovoltaico automático, com acumulador de energia, para a iluminação de uma lâmpada externa tipo LED.
- Analisar os fundamentos relacionados com sistemas elétricos que utilizam energia solar fotovoltaica e iluminação em espaços exteriores, calculando os parâmetros de funcionamento do sistema de iluminação fotovoltaica LED.
- Orçar a implementação e desenvolvimento do projeto.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, grande parte da demanda energética vem dos hidrocarbonetos, e este tipo de fonte de energia é esgotável, também prejudica gravemente a natureza, é necessário procurar diferentes fontes de energia limpa, danificando o mínimo possível o meio ambiente e atendendo à demanda energética atual.

Neste estudo, procura-se melhorar o funcionamento completo dos sistemas fotovoltaicos, juntamente com os principais componentes como conversores comutados, através de um modelo de inovação, de forma a ajudar a mitigar este grave problema energético e ao mesmo tempo criar um elo entre as investigações científicas das referidas partes com a inovação tecnológica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Energia solar fotovoltaica trata-se da utilização dos fótons emitidos pelo Sol como base para geração de energia elétrica. Considerada a fonte de energia renovável mais abundante do planeta, com nenhuma emissão de poluentes, utilizada cada vez mais nas indústrias brasileiras.



Figura 1 – Instalação
Fonte: KISOLTEC

2.1 FUNCIONAMENTO DA CONVERSÃO DE ENERGIA

Os painéis de energia solar fotovoltaica têm o seu interior composto por um material semicondutor, que por sua vez, possui em seu interior uma banda de condução e uma de valência, além de um “gap” entre elas. Quando os fótons provenientes da luz do Sol atingem os painéis solares e energizam os elétrons presentes na banda de valência, estes elétrons saltam o “gap” em direção a banda de condução, criando assim, o chamado “efeito fotovoltaico”, ou seja, energia elétrica. O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez por um físico francês chamado Alexandre Edmond Becquerel, mas só veio a ser utilizado para geração de energia depois de um século. (PORTALSOLAR, 2022)



Figura 2 – Painéis solares fotovoltaicos
Fonte: PORTALSOLAR

2.2 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Embora a parte mais importante do efeito fotovoltaico aconteça nos painéis solares, existe toda uma estrutura a mais para fazer com que a energia chegue nas casas e indústrias de forma segura e utilizável. Os principais componentes que constituem essa estrutura são:

- Painéis solares – Responsáveis por fazer a conversão de luz em corrente elétrica, possuem uma vida útil de até 25 anos.
- Inversores – Transformam a corrente elétrica contínua (gerada nos painéis) em alternada (utilizada nas tomadas). Efetuam o sincronismo com a rede da concessionária (sistema on Grid).
- Materiais elétricos – Elementos responsáveis pela conservação e proteção do sistema (disjuntores, cabos e conectores).
- Estrutura – Apoio e sustentação dos módulos fotovoltaicos.
- Medidor Bidirecional – Mede a quantidade de energia consumida e a exportada para a concessionária.

2.2.1 Tipos de sistemas fotovoltaicos

O processo para a geração de energia é igual, porém, pode ser realizado através de diferentes sistemas. Atualmente no mercado existem dois sistemas em funcionamento, sendo eles:

- Sistema On Grid – A energia gerada pelos painéis é levada ao inversor, onde será convertida em corrente alternada e transmitida até a entrada da rede da casa ou indústria. O excedente criado (energia produzida, mas não consumida) pode ser vendido para a concessionária local. (NEOSOLAR, 2022)
- Sistema Off Grid – Esse tipo de sistema conta com baterias que armazenam a energia criada, para que seja utilizada em horários sem Sol. São alocados, entre as baterias e os painéis, controladores de carga, que evitam cargas e descargas desnecessárias. (NEOSOLAR, 2022)

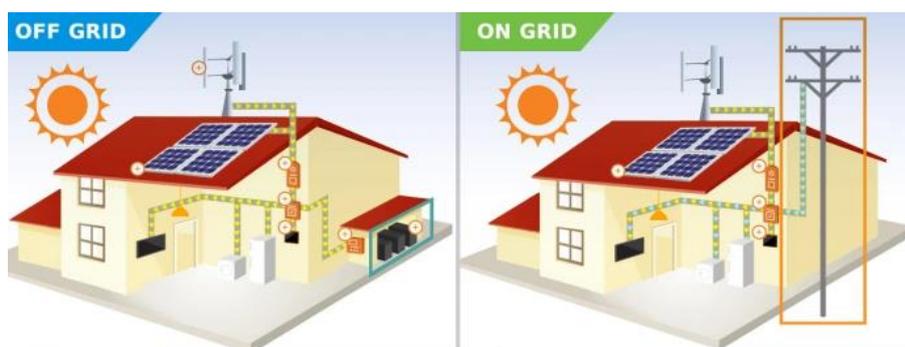


Figura 3 – Sistemas On Grid e Off Grid
Fonte: COOPESOLAR

2.3 MERCADO NACIONAL DE ENERGIA SOLAR

A utilização do sistema fotovoltaico de geração de energia vem crescendo em passos largos no cenário nacional, com destaque nas regiões Sul e Sudeste. O sistema fotovoltaico encontra-se hoje majoritariamente em construções residenciais, focando na redução da conta de luz, ou até mesmo, na isenção dela. Com um território extenso e praticamente sempre coberto pela luz do Sol, o Brasil tem uma grande vantagem em relação aos países que hoje estão mais avançados em termos de energia solar.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 PANORAMA GERAL SOBRE AS TECNOLOGIAS E MERCADOS DE ENERGIA SOLAR

A energia solar refere-se a fontes de energia que podem ser atribuídas diretamente à luz do sol ou ao calor que a luz solar gera. As tecnologias de energia solar podem ser classificadas ao longo da seguinte continuidade:

- 1) passivo e ativo;
- 2) térmica e fotovoltaica;
- 3) concentração e não concentração.

A tecnologia de energia solar passiva apenas coleta a energia sem converter o calor ou a luz em outras formas. Inclui, por exemplo, maximizar o uso da luz do dia ou do calor através do projeto de construção (BRADFORD, 2006).

Por outro lado, a tecnologia de energia solar ativa refere-se ao aproveitamento da energia solar para armazená-la ou convertê-la para outras aplicações e pode ser amplamente classificada em dois grupos:

- (i) energia fotovoltaica (PV)
- (ii) solar térmica. A tecnologia fotovoltaica converte energia radiante em energia elétrica quando a luz cai sobre um material semicondutor, causando excitação de elétrons e melhorando fortemente a condutividade.

Atualmente, existem dois tipos de tecnologia fotovoltaica disponíveis no mercado:

- (a) células fotovoltaicas à base de silício cristalino
- (b) tecnologias de filmes finos feitas com uma variedade de diferentes materiais semicondutores, incluindo silício amorfo, telureto de cádmio e índio de cobre disseleneto de gálio.

A tecnologia térmica solar utiliza calor solar, que pode ser usado diretamente para aplicação térmica ou de aquecimento ou geração de eletricidade. Assim, pode ser dividido em duas categorias:

- (i) solar térmico não elétrico
- (ii) solar térmico elétrico.

O primeiro (i) inclui aplicações como secagem agrícola, aquecedores solares de água, aquecedores solares de ar, sistemas de refrigeração solar e fogões solares; o último (ii) refere-se ao uso de calor solar para produzir vapor para geração de eletricidade, também conhecido como energia solar concentrada (CSP). Atualmente, estão disponíveis no mercado quatro tipos de tecnologias CSP: Calha Parabólica, Espelho de Fresnel, Torre de Energia e Coletor de Louça Solar.

As tecnologias de energia solar têm uma longa história. Entre 1860 e a Primeira Guerra Mundial, uma gama de tecnologias foi desenvolvida para gerar vapor, capturando o calor do sol, para acionar motores e bombas de irrigação. As células fotovoltaicas solares foram inventadas por Bell Labs, nos Estados Unidos, em 1954, e têm sido usadas em satélites espaciais para geração de eletricidade desde o final da década de 1950.

Os anos imediatamente seguintes ao choque do petróleo nos anos setenta viram muito interesse no desenvolvimento e na comercialização de tecnologias de energia solar. No entanto, esse incipiente setor de energia solar da década de 1970 e início dos anos 80 entrou em colapso devido ao acentuado declínio nos preços do petróleo e à falta de apoio político sustentado. Os mercados de energia solar recuperaram impulso desde o início de 2000, exibindo um crescimento fenomenal recentemente. A capacidade total instalada de capacidade de geração de eletricidade baseada em energia solar aumentou para mais de 40 GW até o final de 2010, em relação à capacidade quase insignificante no início dos anos 90.

A instalação de tecnologias de energia solar cresceu exponencialmente em nível global na última década. Por exemplo, a capacidade instalada global de PV (na rede e fora da rede)

aumentou de 1,4 GW em 2000 para aproximadamente 40 GW em 2010, com uma taxa média de crescimento anual de cerca de 49%. Da mesma forma, a capacidade instalada de CSP mais que dobrou na última década, atingindo 1.095MW no final de 2010. A tecnologia solar térmica não elétrica aumentou quase 5 vezes, de 40 GWth em 2000 para 185 GWth em 2010. O ímpeto por trás do recente crescimento das tecnologias solares é atribuído ao apoio político sustentado em países como Alemanha, Itália, Estados Unidos, Japão e China (BRADFORD, 2016).

3.1.1 Solar fotovoltaico

Atualmente, o mercado é praticamente dominado por células fotovoltaicas à base de silício cristalino, o restante do mercado consiste quase inteiramente de tecnologias de filmes finos que usam células produzidas depositando diretamente uma camada fotovoltaica, bem como substrato de suporte.

TOP 10 COUNTRIES IN 2016 FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY				TOP 10 COUNTRIES IN 2016 FOR CUMULATIVE INSTALLED CAPACITY			
1		China	34,5 GW	1		China	78,1 GW
2		USA	14,7 GW	2		Japan	42,8 GW
3		Japan	8,6 GW	3		Germany	41,2 GW
4		India	4 GW	4		USA	40,3 GW
5		UK	2 GW	5		Italy	19,3 GW
6		Germany	1,5 GW	6		UK	11,6 GW
7		Korea	0,9 GW	7		India	9 GW
8		Australia	0,8 GW	8		France	7,1 GW
9		Philippines	0,8 GW	9		Australia	5,9 GW
10		Chile	0,7 GW	10		Spain	5,5 GW

Snapshot of Global Photovoltaic Markets - IEA PVPS

Figura 4: Capacidade instalada total de energia fotovoltaica no nível global.
Fonte: Bradford (2016)

Como ilustrado na Figura 4, alguns países dominam o mercado, no entanto, vários países estão experimentando um crescimento significativo. Notavelmente, a República Tcheca instalou quase 2 GW de energia solar fotovoltaica em dezembro de 2010, acima de quase zero em 2008. A Índia possuía uma capacidade instalada de energia fotovoltaica cumulativa de 102 MW e a China possuía uma capacidade cumulativa de 893 MW no final de 2010 (BRADFORD, 2006).

Existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos nos mercados: sistemas conectados à rede ou centralizados e sistemas fora da rede ou descentralizados. A tendência recente é um forte crescimento no desenvolvimento centralizado de energia fotovoltaica com instalações acima de 200 kW, operando como usinas centralizadas. Os principais mercados para essas aplicações incluem Alemanha, Itália, Espanha e Estados Unidos.

Depois de exibir um crescimento fraco por vários anos, as instalações anuais no mercado espanhol cresceram de cerca de 4,8 MW em 2000 para aproximadamente 950 MW no final de 2007, antes de cair para 17 MW em 2009 e voltar para 370. MW em 2010. As aplicações fora da rede (por exemplo, sistemas solares domésticos) iniciaram uma onda anterior de comercialização de energia fotovoltaica na década de 1970, mas nos últimos anos, esse mercado foi ultrapassado por sistemas conectados à rede (BRADFORD, 2006).

Embora os sistemas conectados à rede dominem nos países da OCDE, os mercados dos países em desenvolvimento, liderados pela Índia e pela China, atualmente favorecem os sistemas

fora da rede. Essa tendência pode ser um reflexo de suas grandes populações rurais, com os países em desenvolvimento adotando uma abordagem à energia solar fotovoltaica que enfatiza a energia solar fotovoltaica para atender às demandas básicas de eletricidade que não são atendidas pela rede convencional.

3.1.2 O solar térmico para aquecimento e refrigeração

A área total de coletores solares instalados (ou seja, solar térmico não elétrico) atingiu 185 GWth no início de 2010. Dos quais China, Alemanha, Turquia e Índia, 80,3%, 3,1%, 1,8% e 1,1%, respectivamente. Os 13,7% restantes foram responsáveis por outros 40 países, incluindo o Brasil, os EUA, Índia, Tailândia, Coréia do Sul, Israel, entre outros. Além disso, são encontrados no mercado três tipos de coletores solares, ou seja, placa plana sem vidro, vitrificada e tubo evacuado (BRADFORD, 2006).

Até o final de 2009, da capacidade instalada total de 172,4 GWth, 32% eram coletores de chapas de vidro; 56% eram coletores de tubos evacuados; 11% eram coletores não vidrados; e o 1% restante era de coletores de ar com e sem vidro. O mercado de sistemas de refrigeração solar permanece pequeno, embora esteja crescendo rapidamente. Estima-se que 11 sistemas estavam em operação em todo o mundo até o final de 2020.

O uso de tecnologias solares térmicas não elétricas varia muito em escala, bem como o tipo de tecnologia preferida. Por exemplo, o mercado na China, Taiwan, Japão e a Europa é dominada por coletores de vidro plano e evacuados. Por outro lado, o mercado norte-americano é dominado por coletores de água sem vidro empregados para aplicações como aquecimento de piscinas.

3.2 MODO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO FOTOVOLTAICA E CUSTOS

O processo operacional do sistema de iluminação fotovoltaico consiste na geração de energia elétrica através do módulo fotovoltaico que gera 12 Vdc com potência de 85 W, que será conectado ao controlador de carga. No regulador de carga 12/24 Vdc 10 Amp, estão interligados o referido módulo solar, o acumulador de energia com capacidade de 40 Ah a 12 Vdc e o driver que alimenta e controla a lâmpada led de 15 W a 12 Vdc, em que a função do controlador de carregamento é proteger os dispositivos conectados a ele (SOARES, 2012).

O tempo de acionamento e o fluxo luminoso são controlados pelo driver que recebe um sinal através de um microcontrolador remoto que permite a transmissão das informações por meio de um controle remoto. A figura 5 mostra o fluxograma que representa o sistema de iluminação fotovoltaica.

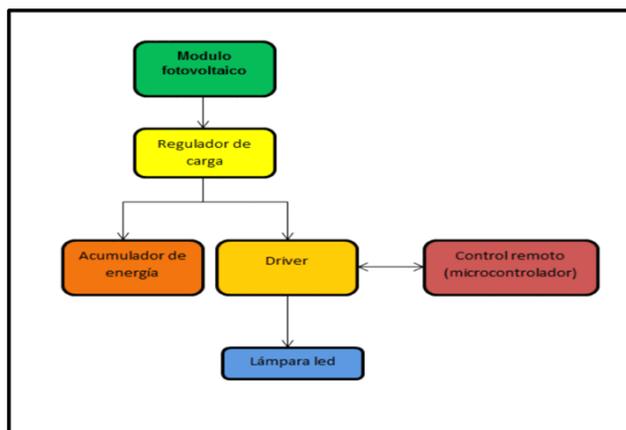


Figura 5: Diagrama de fluxo do sistema de iluminação fotovoltaica.
Fonte: Soares (2012)

A figura 6 a seguir mostra um diagrama que representa as conexões do sistema de iluminação fotovoltaica.

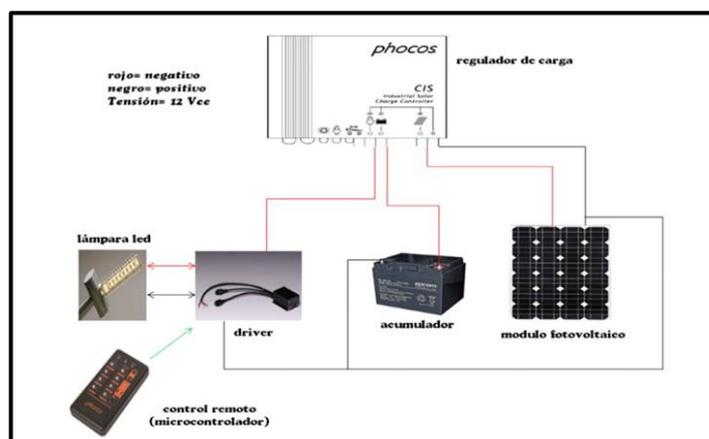


Figura 6: Esquema do circuito elétrico do sistema de iluminação fotovoltaica.
Fonte: Soares (2012)

Já os custos para a realização de um projeto de sistemas de geração fotovoltaica exigem um alto capital de investimento inicial, pois os equipamentos e componentes que o compõem têm um elevado valor econômico devido à tecnologia que utilizam, e do ponto de vista econômico a rentabilidade varia dependendo da escala e objetivo do projeto.

3.2.1 Custos diretos

Os custos diretos compreendem diretamente os equipamentos, componentes e demais elementos que compõem o sistema de geração fotovoltaica, cujos valores reais dos equipamentos e estimados estão detalhados a seguir na tabela 1 referentes ao transporte veicular, utilização de aluguel de ferramentas e equipamentos, uma vez que esses itens foram fornecidos por pessoa conhecida e sem valor.

Tabela 1: Custos diretos do projeto

Item	Descrição	Quantidade	Valor total (em R\$)
1	Módulo solar	1	729,00
2	Regulador de carga	1	5.103,00
3	Armazenamento de energia	1	2.345,00
4	Drive	1	90,00
5	Lâmpada led	1	21,00
6	AWG #	100 metros	56,00
7	Construção de suporte eletrossoldado para módulo solar	-	80,00
8	Painel elétrico para montagem de elementos de proteção, regulador, driver e bateria	-	125,00
9	Hardware	-	60,00
10	Aluguel de escada telescópica	-	35,00
11	Aluguel de máquina de solda elétrica	-	80,00
12	Ferramentas secundárias	-	60,00
13	Ajudante elétrico	-	950,00
14	Transporte de equipamentos e ferramentas de trabalho	-	40,00
-	TOTAL	-	9.974,00

Fonte: Beadford (2006).

3.2.2 Custos indiretos

De acordo com Bradford (2006), os custos indiretos são aqueles que não estão diretamente ligados na execução deste projeto. Nesse caso, o projeto é um trabalho de graduação realizado por um aluno graduado da carreira de Engenharia Elétrica e Mecânica, por esse motivo esses custos não têm valor e são detalhados a seguir:

- Custos administrativos;
- Seguro;
- Serviços básicos;
- Design de engenharia;
- Inspetor;
- Construções provisórias.

3.2.3 Custo total do projeto

A implementação do projeto é representada pelos custos diretos e indiretos, os quais são detalhados na tabela 2, obtendo-se como resultado o valor total da execução do projeto.

Tabela 2: Modelo de sistemático total do projeto.

ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR (em R\$)
1	Custos diretos	9.974,00
2	Custos indiretos	0
-	TOTAL	9.974,00

Fonte: Bradford (2006).

3.2.4 Custo atual da energia convencional e fotovoltaica

Em 2022, para consumidores residenciais (B1) a tarifa de eletricidade é de R\$1,04 e para consumidores comerciais e industriais (B3) é de R\$ 0,98 para cada KWh que consomem por mês. Isso vale para clientes que consomem mais de 110 KWh na Zona urbana e 130 KWh na zona rural, esse é o consumo máximo para quem tem a tarifa de dignidade. A taxa de dignidade é subsidiada e equivale a R\$ 0,64 KWh (NGSOLAR, 2022). Por meio do regulamento 04/11 aprovado em abril de 2011 e reformado em 2012, a ANEEL fixou a taxa preferencial de R\$ 0,40 por KWh para a geração de energia fotovoltaica. (ANEEL, 2018)

A economia de energia e economia com o desenvolvimento deste projeto é significativa, pois embora o investimento inicial tenha um custo elevado em comparação com outros sistemas de iluminação externa semelhantes, o investimento inicial é recuperável em um período de aproximadamente 6 anos, no que diz respeito ao vida útil estimada do sistema, que é de 25 anos segundo o fabricante, com diferença de 19 anos em que a economia econômica começa a ser obtida já que a energia produzida não teria custo.

Para a localização do módulo solar, devem ser tidos em consideração objetos, edifícios, árvores e outras circunstâncias que possam obscurecer a irradiação solar que o módulo solar irá receber, para que tal não possa afetar o desempenho do sistema fotovoltaico.

O sistema deve ser mantido pelo menos uma vez ao ano, limpar o módulo solar com água e sabão neutro, limpar a lâmpada em caso de sujeira, verificar os contatos elétricos do acumulador e realizar a limpeza para evitar a sulfatação e sua deterioração. Já o acumulador de energia deve ser colocado sobre uma base de teto de plástico ou de material que não seja eletricamente condutor, deve ser isolado da parte metálica do painel. Além disso, o quadro elétrico onde ficarão os dispositivos, elementos e acumulador deve ser hermético e permanecer hermeticamente fechado para evitar danos causados por umidade ou roedores.

As funções do sistema consistem em controlar o tempo de acionamento e o fluxo de intensidade luminosa que a lâmpada LED deve fornecer, e para obter esses resultados, o gráfico a seguir mostra o procedimento de como configurar o controle remoto que contém o microcontrolador que está encarregado de enviar o sinal infravermelho ao motorista que aciona a lâmpada LED, que é simulado no programa CISCOM.

O programa CISCOM é um simulador que permite observar a representação dos dados de programação modulados no controle remoto em forma de onda quadrática, que contém uma placa microcontrolada que envia um sinal infravermelho ao driver que alimenta a lâmpada LED. O procedimento de programação é detalhado a seguir de acordo com o requisito que foi estabelecido anteriormente para que o sistema de iluminação fotovoltaica seja acionado automaticamente e funcione das 18:00 às 00:00 a 100% da sua capacidade e a partir das 00:00 até 06:00 a 30% da sua capacidade, controlando assim o fluxo luminoso e conseguindo assim obter poupanças de energia do sistema e um melhor desempenho dele. (MARTINEZ, 2008)

a. Seleção de controlador

A figura 7 mostra as opções de seleção do controlador, que mostra a seleção de uma carga ou duas cargas, neste caso uma carga será selecionada e com controle de atenuação da luz, pois o sistema contém uma única lâmpada LED na qual se deseja controlar o fluxo luminoso.

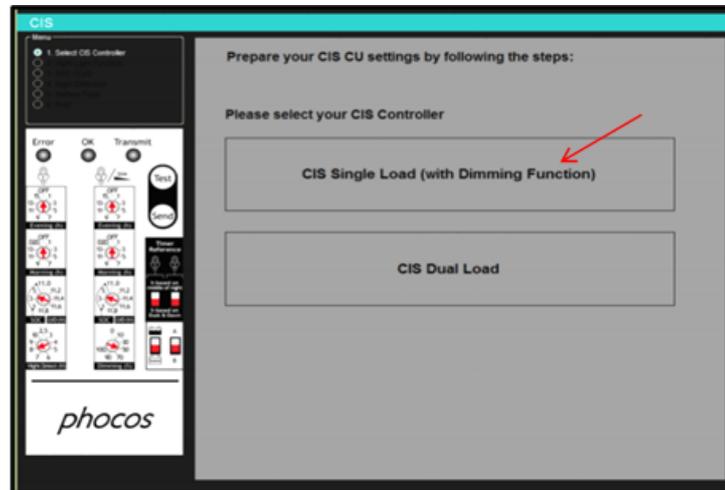


Figura 7: Janela de seleção de carga.
Fonte: Nascimento (2012)

b. Seleção de parâmetros operacionais

Na seleção dos parâmetros de funcionamento, encontram-se as opções light ON e LIGHT dimmer, nas quais se seleciona o período de trabalho da lâmpada LED, que começa das 18:00 às 06:00, e a partir do meio da noite, que seria de 00:00 horas, o fluxo luminoso é ajustado em 30% até as 06:00.

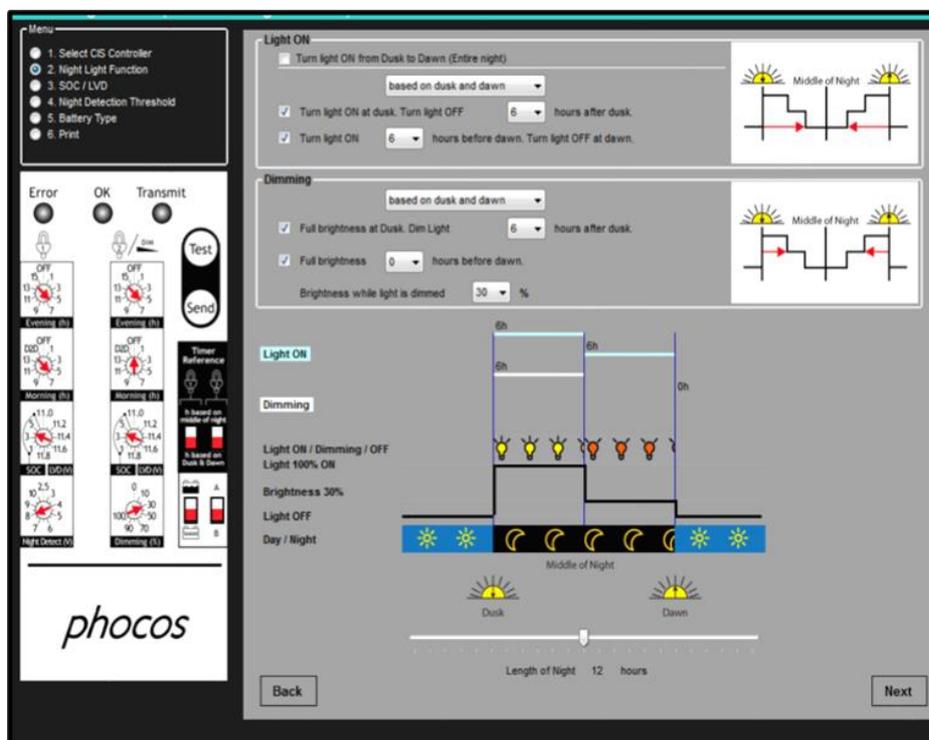


Figura 8: Janela para seleção dos parâmetros e curva do período de trabalho.
Fonte: Nascimento (2012).

Por meio desses resultados experimentais, pode-se fazer uma comparação com os cálculos e resultados obtidos no dimensionamento de cada um dos equipamentos que compõem o sistema de iluminação fotovoltaica, em que foi selecionada a irradiação do pior mês do ano, que é de $3,4 \text{ kWh/m}^2$, que permite dimensionar o sistema nas piores condições de operação, obtendo um consumo total de energia 117 Wh/dia e uma carga total de $10,72 \text{ Ah/dia}$, através destes dados iniciais é obtido o pico de corrente que o sistema de iluminação fotovoltaico vai ter, gerado pelo módulo fotovoltaico. O acumulador de energia foi dimensionado por meio da carga total para os dias de autonomia que resultou em $40,2 \text{ Ah}$ o que corresponde à capacidade do acumulador, então por meio da lei de ohm é calculada a corrente que vai circular da bateria para a carga e do painel para a bateria, obtendo-se resultados de tensão e intensidade elétrica semelhantes em termos de cálculos. (NASCIMENTO, 2012)

Os dados teóricos e experimentais apresentados nas tabelas 9 e 10, relativos ao processo de programação e funcionamento do sistema de iluminação fotovoltaica, foram realizados através de uma simulação em programa de PC obtendo-se os resultados desejados que se aproximam do requisito inicial do projeto.

Embora os custos das tecnologias de energia solar tenham apresentado um rápido declínio no passado recente e o potencial de declínios significativos no futuro próximo, os valores mínimos de custo nivelado de qualquer tecnologia solar, incluindo o tipo de torre CSP, que atualmente é a tecnologia solar menos dispendiosa, seria maior que os valores máximos dos custos nivelados das tecnologias convencionais para geração de energia (por exemplo, nuclear, carvão IGCC, carvão supercrítico, hidrelétrica, gás CC), mesmo que os custos de capital das tecnologias de energia solar fossem reduzidos em 25%. Atualmente, essa é a principal barreira à implantação em larga escala de tecnologias de energia solar. Além disso, a expansão das tecnologias de energia solar também é limitada por barreiras financeiras, técnicas e institucionais.

Vários instrumentos fiscais e regulatórios têm sido utilizados para aumentar a produção de energia solar. Esses instrumentos incluem incentivos fiscais, taxas de juros preferenciais, incentivos diretos, programas de empréstimos, mandatos de construção, padrões de portfólio renováveis, programas voluntários de energia verde, medição líquida, padrões de interconexão e projetos de demonstração. No entanto, o nível de incentivos oferecidos por esses instrumentos não foi suficiente para aumentar substancialmente a penetração da energia solar no mix global de fornecimento de energia. Além disso, esses instrumentos de política podem criar ineficiências de mercado, além dos custos diretos de exigir mais caros suprimentos de eletricidade a serem usados. Embora não discutidos neste documento, esses impactos indiretos precisam ser considerados na avaliação do custo de oportunidade total das políticas para expandir a produção de energia solar.

Os mecanismos de financiamento de carbono, em particular o MDL, poderiam potencialmente apoiar a expansão do mercado de energia solar. Embora algumas mudanças na operação do MDL possam aumentar o investimento em energia solar, o preço dos créditos de carbono necessários para tornar as tecnologias de energia solar economicamente competitivas com outras tecnologias para reduzir as emissões de GEE seriam altas.

Portanto, a barreira fundamental para aumentar a utilização de tecnologias solares orientada pelo mercado continua sendo o seu custo. O atual crescimento da energia solar é impulsionado principalmente por apoios políticos. A continuação e a expansão de caros apoios existentes seriam necessárias por várias décadas para melhorar a implantação adicional de energia solar nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, dadas as tecnologias atuais e as projeções de suas melhorias adicionais a curto e médio prazo. Além disso, é necessário uma superação das atuais barreiras técnicas e econômicas exigirá desembolsos adicionais substanciais para financiar a pesquisa e o desenvolvimento aplicados e para cobrir os custos previstos dos investimentos iniciais em capacidade de produção de tecnologia aprimorada em escala comercial.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fisicamente, a energia solar constitui o recurso de energia renovável mais abundante disponível e, na maioria das regiões do mundo, seu potencial teórico é muito superior ao atual suprimento total de energia primária nessas regiões. As tecnologias de energia solar podem ajudar a abordar o acesso de energia a comunidades rurais e remotas, ajudar a melhorar a segurança energética a longo prazo e ajudar a mitigar os gases de efeito estufa.

Nesse trabalho, foi possível observar dois pontos importantes a serem desenvolvidos, o ponto principal desta tese era apresentar um versátil conversor bidirecional chaveado que melhorasse o desempenho de um sistema fotovoltaico usado em luminárias públicas ou residenciais. O outro era demonstrar um modelo de inovação relacionado com as energias renováveis, que permitisse, através da sua flexibilidade, poder fazer o conversor comutado proposto.

Analisou-se que a energia gerada através dos raios de Sol não tem custo em comparação com a energia elétrica fornecida pela rede de alimentação convencional. Os grupos de iluminação com lâmpadas do tipo LED, alimentados por módulos fotovoltaicos em que o sistema é microcontrolado, apresentam uma melhor eficiência da geração de energia no que diz respeito aos sistemas convencionais de iluminação industrial.

Os conjuntos fotovoltaicos funcionam corretamente de acordo com as funções programadas, nas quais o objetivo principal é controlar o tempo de atuação e o grau de atenuação da luz ou a quantidade de fluxo luminoso. Nos resultados obtidos, pode-se verificar que o módulo de energia solar dificilmente recebe radiação solar, ele passa a gerar energia elétrica para armazená-la no acumulador, obtendo uma tensão plena a 12 Volts com carga, gerando uma corrente de 1,66 Amp, o que corresponde dentro da faixa de operação e uma tensão sem carga de 20 Volts.

Conclui-se que o conjunto solar fotovoltaico que foi desenhado para a iluminação exterior de uma lâmpada LED microcontrolada, é um sistema em que vários grupos semelhantes poderiam ser instalados em diferentes espaços dentro da cidade, a fim de obter poupanças de energia dentro da instituição e incentivar o uso de energias renováveis para estudantes e outras pessoas que possam observar este tipo de projetos e promover a investigação de projetos semelhantes

com melhores tecnologias em que a eficiência do sistema possa ser melhorada e maiores poupanças possam ser obtidas energético e econômico.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. F. **O Método de Melhorias PDCA**. 2003. 169f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2003.
- ARVIZU, D. P.; BALAYA, V.; MELESHKO, W.; STEIN, Y.; TAMAURA, H.; XU, R. ZILLES. **Energia solar direta**. No Relatório Especial do IPCC sobre Fontes de Energia Renováveis e Mitigação das Mudanças Climáticas. Cambridge: University Press, Cambridge, 2011.
- BRADFORD, T. **Revolução Solar**. A transformação econômica da indústria global de energia. Cambridge, MA: The MIT Press, 2006.
- BRAGA, Renata Pereira. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: s. n., 2016.
- COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação Econômica – Cálculo e Avaliação**. Editora Edipuc RS. 2008. Porto Alegre.
- COSTA, R. N. A. **Viabilidades Térmica, Econômica e de Materiais de um Sistema Solar de Aquecimento de Água a Baixo Custo para Fins Residenciais**. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- LIMA, Danilo Brito. **Guia de constituição de cooperativas de geração distribuída fotovoltaica**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <http://www.somoscooperativismo.coop.br/publicacao/33/guia-de-constituicao-decooperativas-de-geracao-distribuida-fotovoltaica>. Acesso em: 26 mar. 2022.
- MARTINEZ Rodrigo. **LEDs para iluminação pública**. 2008. Artigo (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- 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.
- NGSOLAR. **Preço da Energia Solar CPFL 2022**. [S. l.]: NGSolar, 2022. Disponível em: <https://www.ngsolar.com.br/single-post/preco-kwh-cpfl#:~:text=Com%20o%20reajuste%20de%202021,%2C%20R%241%2C79%20kWh> Acesso em: 21 nov. 2022.
- PORTALSOLAR - **Energia Solar OnGrid ou OffGrid, qual devo escolher?** [S. l.]: Portal Solar, 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-on-grid-ou-off-grid-qual-devo-escolher> Acesso em: 30 ago. 2022.
- PROCEL. **Iluminação Pública**. [S. l.]: Procel, 2017. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BCC4A0FEF-A8D7-41C0-BC18-%2066507F3192F8%7D&Team=%C2%B6ms=itemID=%257%E2%80%8BBD72C274C-52A8-4CEDB954-02556F4BC6AF%7D>. Acesso em: 27 mar. 2022.
- PROCEL. **Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes**. [S. l.]: Procel, 2010. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6C524BD8642240ECAD7DEF8CD7A8C0D9PTBRIE.htm>. Acesso em: 21 mar. 2022.
- SOARES, Guilherme M. **Driver de longa vida e alta eficiência para acionamento de LEDs em iluminação pública**. 2012. 87 f. Monografia (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.