

ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS NOS POSTES DO ESTACIONAMENTO DA FACULDADE MULTIVIX SÃO MATEUS

Juan Nascimento Pereira¹
Nélio Calegario da Silva Junior²
Walcymara Fonseca Cavalcanti Pinha³

RESUMO

O presente trabalho mostra um estudo sobre o sistema de iluminação do estacionamento do campus da Faculdade Multivix São Mateus – ES. A pesquisa objetiva identificar as necessidades existentes e, em seguida, apresentar soluções economicamente viáveis e sustentáveis para melhorar o sistema local de iluminação. Os dados foram obtidos à partir de procedimentos de visita técnica, que tornaram possível delinear soluções. Estas melhorias puderam apenas ser propostas de acordo com as definições da ABNT NBR 5413, que trata de iluminação de interiores. Definindo essa norma como padrão, foi possível diagnosticar a necessidade de redimensionar o sistema de iluminação do estacionamento do campus. Especificamente, a pesquisa mostrará a viabilidade de instalar postes de energia com painéis solares e lâmpadas de LED, uma vez que a busca por fontes alternativas de energia tem sido a melhor opção, tanto pelo ponto de vista sustentável, quanto pelo econômico. A metodologia adotada é a do estudo de caso, conteúdo pesquisa bibliográfica – uma vez que a bibliografia é baseada em livros, artigos científicos e pesquisa documental, que usa materiais que ainda não receberam tratamento analítico; pesquisa quantitativa – usando técnicas quantitativas e estatísticas, evitando possíveis distorções da análise e interpretação; pesquisa qualitativa – que descreve o problema objetivando compreender e classificar, o que contribui no processo de mudança. Finalmente, é concluído que a implantação de painéis fotovoltaicos em postes na iluminação privada permite economia com o uso de energia renovável, promovendo sustentabilidade dentro da instituição, sendo um ponto

¹ Graduando em Engenharia Mecânica pela Faculdade Norte Capixaba de São Mateus.

² Graduando em Engenharia Mecânica pela Faculdade Norte Capixaba de São Mateus.

³ Graduanda em Engenharia Mecânica pela Faculdade Norte Capixaba de São Mateus.

atrativo para estudantes de graduação dentro da sociedade acadêmica, atuando como um projeto pioneiro na cidade de São Mateus.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar. Sustentabilidade. Rentabilidade.

ABSTRACT

The present work shows a study about the parking lighting system at the campus of Faculdade Multivix São Mateus – ES. The research aims to identify the existent needs and therefore present economically viable and sustainable solutions to improve the local lighting system. Data were obtained from in site procedures, which made it possible to outline a solution. These improvements could only be adopted in accordance with the ABNT NBR 5413 requirements, about indoor lighting. Setting this standard as default, it was possible to diagnosticate the need to resize the parking lighting system at the campus. Specifically, the research will show the feasibility of installing light poles with solar panels and LED bulbs, since the search for alternative energy sources has been the best option both from the sustainable point of view, such as the economic point of view. The methodology adopted is the case study, containing bibliographic research - once bibliography is based on books, scientific papers, and documentary research, which uses materials that have not yet received analytical treatment; quantitative research - using quantification techniques and statistics avoiding possible distortions of analysis and interpretation; qualitative research - which describes the problem seeking to understand and classify, which contributes to the process of change. Finally, it is concluded that the implantation of photovoltaic panels on poles in the private lighting system allows savings with the use of renewable energy, promoting sustainability inside the institution, being such an attractive highlight for undergraduate students into the academic society, acting as a pioneer project in the city of São Mateus.

KEY WORDS: Solar energy. Sustainability. Profitability.

1 INTRODUÇÃO

O ser humano tem se tornado um grande precursor da evolução, se tratando da descoberta de novas fontes de energia e da implantação da mesma. De acordo com Farias e Sellito (2011), desde a origem da humanidade o homem se mostrou

preocupado em obter uma forma de luz artificial, conseguindo assim, o domínio do fogo, através da utilização de um vegetal. Já na idade média, o grande passo foi para a utilização do vapor, até chegar-se às idades, moderna e contemporânea, em que o carvão e o petróleo foram empregados na obtenção de energia.

Atualmente, existe uma grande preocupação por parte das nações com as questões ambientais aumentando assim a conscientização mundial para o uso de fontes de energia não poluentes, aumentando o uso de bases sustentáveis, se contrapondo aos recursos não renováveis que hoje se caracterizam pelo alto índice de poluição por utilizar, como é o caso das termelétricas, combustão para a geração de energia (FREITAS; DATHEIN, 2013).

No tocante às políticas públicas, uma das grandes preocupações do governo tem sido a produção de energia elétrica de forma ecologicamente sustentável (MORAES et al, 2013, p.614). Segundo a LGL Solar – Treinamentos (2018), pode-se definir como energia limpa toda energia que em seu processo de produção não lança gases poluentes e resíduos tóxicos no meio ambiente e, que são renováveis. Assim, a procura por técnicas que tenham o propósito de incentivar a produção de uma energia limpa tem se transformado em algo cada vez mais constante e que exige muito empenho de pesquisadores.

Segundo documento anual do World Energy Outlook (2012, p.8) da IEA (International Energy Agency) os investimentos no setor de energia serão inevitáveis, tendo em vista que a demanda mundial por energia crescerá mais de um terço até 2035.

O uso de energias renováveis pelas indústrias é uma ação estratégica que exige planejamento, responsabilidade ambiental e compromisso com a sociedade, além de amplo envolvimento e conhecimento quanto aos recursos provenientes da natureza (RODRIGUES et al, 2006).

Segundo o BEN (2013), o Brasil é dono de uma matriz elétrica de origem majoritariamente renovável. A geração hidráulica, somente, responde por 70,1% da oferta interna, que somada às importações, de origem também renovável, eleva o percentual à casa dos 85%.

No Brasil, as hidrelétricas têm maior participação na geração de energia, apesar de ser um recurso renovável, seus impactos ao meio ambiente não são tão inofensivos como se pensava. Devido ao alagamento de grandes áreas cultiváveis, é percebida a emissão de gás metano (CH_4) (TROMBETTA, 2014).

Levando em consideração os impactos da liberação de CH_4 (na decomposição de matéria orgânica) na atmosfera, as hidrelétricas mostram uma outra face não tão bonita. Uma solução para redução no uso da energia desse bem, é a utilização dos sistemas fotovoltaicos para geração de uma energia mais limpa.

No Brasil, os melhores locais para instalação de sistemas de produção de energia fotovoltaica estão concentrados no nordeste, com cerca de 5900 a 6100 $\text{Wh/m}^2\cdot\text{dia}$, no entanto, estados do sudeste também têm grande potencial para a geração de energia proveniente do sol, a radiação solar, no Espírito Santo, por exemplo, varia entre 4700 e 4900 $\text{Wh/m}^2\cdot\text{dia}$, como é possível observar na Figura 1, abaixo:

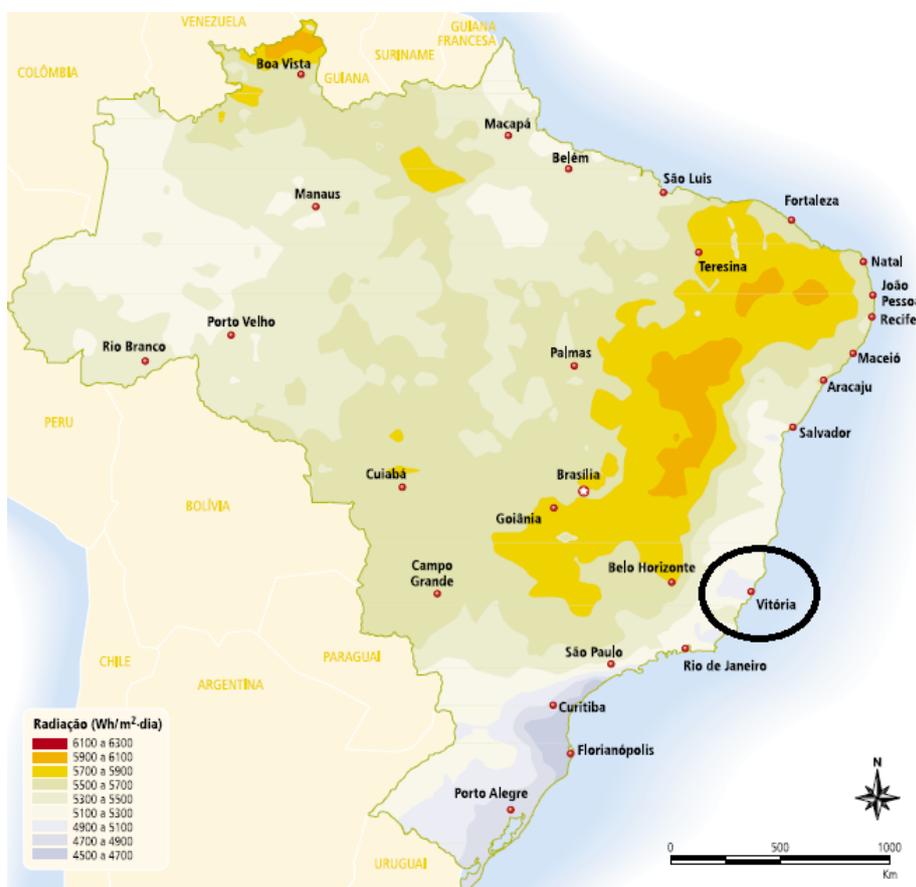


Figura 1 – Mapa de radiação solar nacional diária - média anual típica ($\text{Wh/m}^2\cdot\text{dia}$).

Fonte: ANEEL (2005).

Esta condição traz a certeza do quão favorável é a contribuição geográfica para a produção de energia proveniente do sol em território Brasileiro, precisamente no território Capixaba em destaque na Figura 1.

Fazendo um breve comparativo entre as regiões da Europa e as do Brasil, é possível verificar que no Brasil há uma média anual de irradiação solar variando entre 3,8 e 6,5 kWh/m²/dia. Nos países europeus, as variações anuais estão entre 2,5 e 3,4 kWh/m²/dia na Alemanha, 2,5 e 4,5 kWh/m²/dia na França, 3,4 e 5,0 kWh/m²/dia na Espanha. Ou seja, esses países possuem médias de radiação bem inferiores às observadas no Brasil, e ainda assim conseguem aproveitar de forma eficiente os recursos solares (ASPE 2013).

Paratanto, elaborou-se o presente artigo, com o objetivo mostrar a viabilidade da implantação e os benefícios que podem ser alcançados pelas organizações ao buscarem incluir em seus projetos a utilização de fontes de energia limpa e eficiente, além demonstrar a economia e consequente redução de gastos oriundos da energia necessária consumida para manter-se ativa, o que certamente trará uma redução considerável, dos custos de manutenção institucional.

É notória também, a grande necessidade das instituições de ensino estarem na ponta, na corrida por incentivos tecnológicos, a implantação de um projeto como o proposto, trará, além dos benefícios internos mencionados acima, benefícios externos perante a sociedade. A faculdade será observada com um modelo a ser seguido e terá algo de muito valor a ser copiado, podendo receber visitantes de todas as partes para observação e estudo, através de visitas técnicas, obtendo assim, um grande diferencial perante outras instituições no quesito sustentabilidade.

Além dos benefícios localizados, este artigo abre caminho para estudos posteriores, se apresentando como uma solução para o uso desenfreado dos recursos energéticos, apresentando uma fonte renovável, de inúmeros benefícios que no entanto é pouco explorada nas regiões capixabas, que apesar do grande potencial, se tratando de condições de clima, que proporcionam grande possibilidade de êxito nos investimentos em energia

solar, não possui muitos modelos implantados, reforçando assim, a importância de tal investimento.

O artigo está dividido em seções, a seção 2 apresenta a metodologia do artigo, demonstrando de forma explicativa os métodos utilizados na elaboração deste, trazendo ao entendimento do leitor, os conceitos de pesquisa e os parâmetros de escolha, utilizados em cada método de pesquisa.

Na seção 3 está contextualizado todo o referencial teórico utilizado como base para artigo. Através do envolvimento de outros autores, pôde-se ter embasamento suficiente para relatar conceitos relacionados a matriz energética do Brasil, descrita na subseção 3.1, sobre a energia solar, na subseção 3.2 buscando demonstrar o potencial desta fonte no Brasil e as condições de clima que tornam propícios os

investimentos, na subseção 3.3, demonstrando através de ilustrações e circuitos como ocorre a conversão da energia solar em eletricidade e na subseção 3.4 os sistemas solares existentes e os parâmetros para determinação do sistema no projeto proposto, o qual pode atender de forma eficaz a todos os parâmetros.

A seção 4 apresenta os resultados e discussões, mostrando a pesquisa comercial feita para escolha do fornecedor dos equipamentos e da empresa responsável pela instalação dos mesmos. Demonstrando ainda através do cálculo luminotécnico e com base em normas, a organização e distribuição dos postes no estacionamento e a quantidade necessária de luminárias, de forma a garantir a qualidade de iluminância do local. Além de demonstrar através de cálculos, o tempo para retorno do investimento.

A seção 5 apresenta as considerações finais do trabalho, agregando as reflexões das sessões anteriores, destacando os benefícios, tanto institucionais quanto sociais, da implantação do projeto na Faculdade Multivix São Mateus – ES, servindo ainda, como incentivo às futuras pesquisas relacionadas.

2 METODOLOGIA

O princípio de realização do projeto consistiu na pesquisa aplicada, de forma a auxiliar na organização dos dados necessários para execução da atividade proposta. De acordo com Silva; Menezes (2005) a presente pesquisa teve como objetivo, gerar conhecimentos que contribuam para a aplicação prática e direcional na solução de problemas específicos, tomando como base verdades e interesses locais, já que a pesquisa foi feita com base em postes com luminárias fotovoltaicas para o estacionamento da Faculdade MULTIVIX São Mateus - ES.

No campo de aplicação, foram utilizadas pesquisas quantitativas e qualitativas. Segundo Diehl (2004), a pesquisa quantitativa utiliza a quantificação, técnicas estatísticas que objetivam os resultados e evita possíveis distorções de análise e interpretação. Já a pesquisa qualitativa descreve a dificuldade de determinado problema, sendo necessário compreender e classificar os processos dinâmicos vividos nos grupos, contribuindo no processo de mudança e possibilitando o entendimento das particularidades dos indivíduos.

Buscando alcançar o melhor resultado possível e uma melhor compreensão do que foi apresentado no projeto tendo como base o ponto de vista dos procedimentos técnicos, Gil (2008) considera que as pesquisas a serem utilizadas podem ser, pesquisa bibliográfica, aquela que já foi elaborada, constituída principalmente de livros e artigos científicos e a pesquisa documental, que assemelha-se muito à pesquisa bibliográfica, uma vez que esta utiliza materiais que ainda não receberam um tratamento analítico, como catálogos de fornecedores.

Na realização da coleta dos dados, foram utilizadas técnicas de observação direta no ambiente de estudo, o estacionamento interno da Faculdade Norte Capixaba de São Mateus – MULTIVIX no Estado do Espírito Santo, que possui uma área de 5500 mil metros quadrados, sem cobertura e fazia uso da iluminação elétrica de 7 (sete) postes que funcionam de 6 a 8 horas por dia. Com base na quantidade de postes, no seu tempo de funcionamento e através do consumo de kW/h que cada lâmpada consome, foram realizados cálculos, afim de obter um levantamento do consumo de energia.

Para auxiliar na coleta dos dados e dos cálculos, foram utilizados o catálogo da fabricante EcoSoli (2018) e a norma que “define valores de iluminância médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras” (ABNT NBR 5413, 1992).

Analisando os dados coletados com base na norma ABNT NBR 5413, foi observado que a distribuição dos postes no ambiente de estudo estava incorreta. Através da realização de cálculos foi feito o redimensionamento de quantos postes seriam necessários para iluminar a área estudada, no qual foi dividido os lumens da área pelo o lúmen da luminária adotada, encontrado o total necessário de 39 luminárias. Conforme o catalogo EcoSoli (2018) os postes terão de 6 a 8 m com um cabo entre a luminária e a placa de 3 m, possuindo um peso 13 kg (luminária sem o poste) com distância recomendada entre postes de 15 a 20 m.

Não foi possível realizar uma medição precisa do nível de iluminância pois não foi utilizado nenhum aparelho eletrônico capaz de medir a intensidade de luz e por existir de um difusor que reduz a emissão da luz para o ambiente e a queda do fluxo luminoso ao longo do tempo. Por esses fatores, foi adotado um novo número de luminárias para o projeto, decidiu-se a utilização de 40 luminárias LED de 80W equivalente a 7200 lúmens. Esse padrão adotado compensou a depreciação do fluxo luminoso.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 MATRIZ ENERGETICA DO BRASIL

Antes de se iniciar qualquer discussão sobre Matriz Energética é necessário ter bem definidos os conceitos, de matriz energética e matriz elétrica. Se tratando de matriz elétrica, é correto afirmar que se trata do uso, apenas, das fontes de energia para geração de "eletricidade".

"O país também pode usar como um indicador a matriz elétrica, que difere da energética por abranger apenas o uso das fontes de energia para geração de energia elétrica, enquanto a energética considera todas as destinações, como por exemplo a utilização no setor de transportes e industrial." (CATÃO E CARDOSO, 2016, p. 38).

Sendo assim, pode-se definir como Matriz Energética o conjunto das fontes de

geração de energia, renováveis ou não, disponíveis e necessárias para que uma nação, atenda de forma controlada sua demanda por energia, em outras palavras, "Matriz energética é uma representação quantitativa da oferta de energia que um determinado país ou região dispõe para sustentar o desenvolvimento de suas atividades econômicas.", afirma (COUTINHO, 2015).

As fontes energéticas do Brasil estão divididas entre renováveis e não-renováveis, as fontes não-renováveis são aquelas presentes na natureza e de forma finita, não se renovam (FELIX e SANTOS, 2013). O uso contínuo desses recursos traz à tona diversos problemas, além de serem recursos passíveis de extinção trazem consigo a problemática da diminuição da camada de ozônio pelo aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera (BEN, 2018).

Segundo o BEN 2018, atualmente, os recursos renováveis são responsáveis por 42,9% da oferta de energia, neste estão as energia provenientes, da biomassa da cana-de-açúcar, da hidráulica, da lenha e carvão vegetal, da lixo e outras fontes, como a solar e a eólica, enquanto os não renováveis atendem 57,1% são eles, o petróleo e derivados, o gás natural, o carvão mineral, o urânio e outras fontes não renováveis.

Na Figura 2 abaixo, pode-se observar o aumento das emissões de CO₂ entre os anos 2000 e 2017, e uma projeção para 2026:

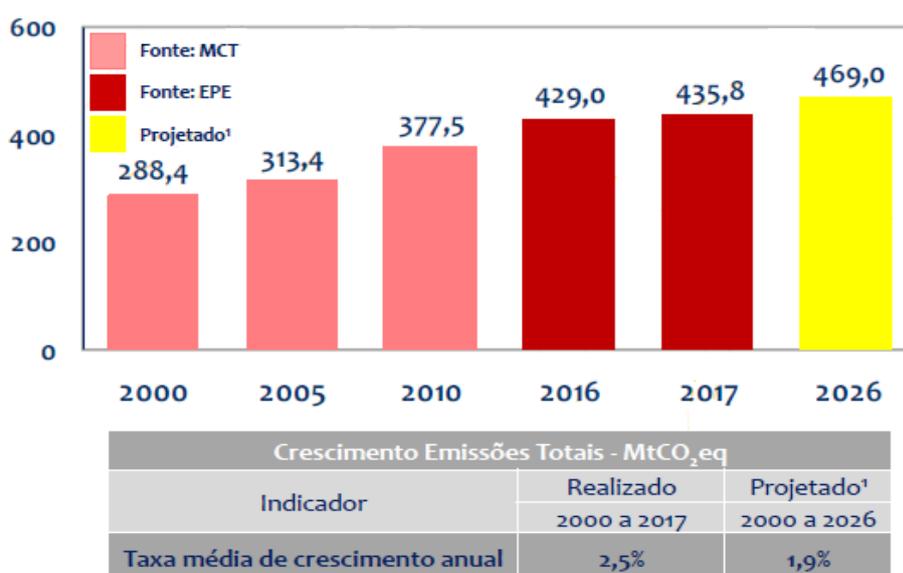


Figura 2 - Gráfico da Evolução nas Emissões de CO₂.

Fonte: BEN (2018).

Esta situação é preocupante em termos de meio ambiente, mas pelo grande potencial energético existente no Brasil, é um quadro passível de ser revertido. Dados, ainda do BEN (2018), mostram que o Brasil possui um grande potencial energético, tendo atualmente, grande autonomia energética. A grande responsável por esse cenário é a geração de energia através da força dos rios, a energia hidrelétrica (Figura 3).

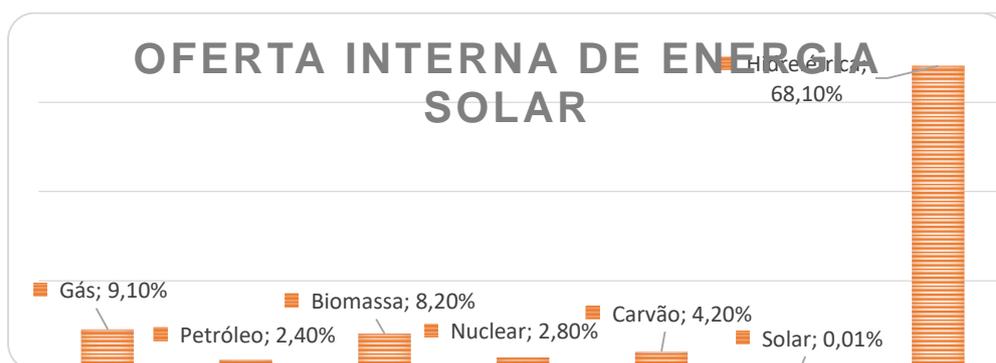


Figura 3 - Gráfico da Oferta interna de Energia Elétrica por Fonte.

Fonte: Adaptado - BEN (2017).

No entanto, foi observado entre os anos de 2016 e 2017 uma diminuição na oferta energética desta fonte renovável e considerável aumento na oferta de energia gerada a partir do gás natural, fonte não renovável.

Como é possível observar na Figura 4, abaixo:

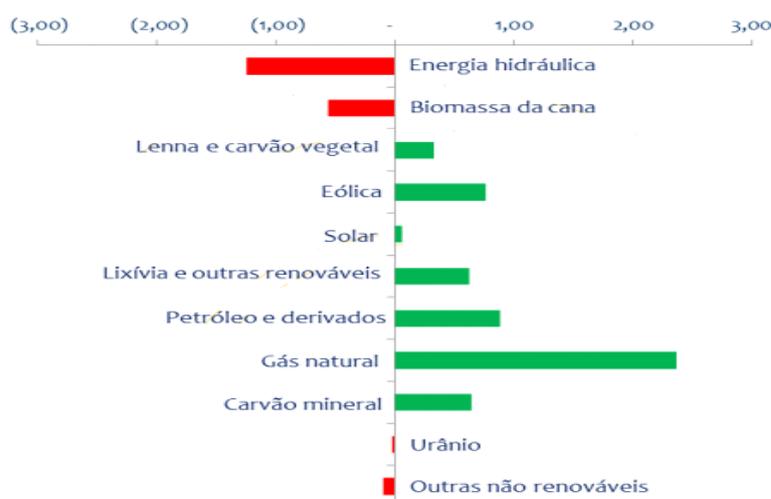


Figura 4 - Gráfico da Variação em milhões de toneladas equivalentes de petróleo na oferta interna de energia, entre 2016 e 2017.

Fonte: BEN (2018).

Nesta queda na oferta de energia hidrelétrica pode-se creditar grande parte culposa na conta dos baixos níveis de precipitação observados nos últimos anos, levando importantes reservatórios Brasileiros a quase zerar seus estoques de armazenamento.

Segundo, Marta Vieira (2017),

“Entre as oito principais hidrelétricas operadas pela Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), seis apresentam armazenamento em níveis inferiores ao verificado em setembro de 2016, com base em informações que a concessionária coletou do dia primeiro até quarta-feira, informadas pela empresa por meio de sua assessoria de imprensa. A pior situação é do reservatório de Três Marias, no Rio São Francisco, que opera com 16,25% de sua capacidade de acumulação de água, frente a 24,60% em setembro do ano passado. Em Nova Ponte, a baixa no período analisado foi de 30% para 23,81%”.

Esta preocupação, ainda está relacionada a grande dependência nacional pelas hidrelétricas, fato constatado nas seções anteriores. Contudo, a maior preocupação em promover e incentivar estudos sobre fontes de energia alternativas é pra justamente para que se evite chegar a um quadro de extinção das reservas de recursos renováveis no país. Sendo assim, tornam-se necessários investimentos no setor de geração de energia fotovoltaica.

3.2 ENERGIA SOLAR

À medida que se torna crescente a necessidade de energia pela humanidade, aumentam também as dificuldades em obtê-la. Suscita daí a urgência quanto ao uso de soluções alternativas e o desenvolvimento de novas tecnologias, visando ao aproveitamento de fontes renováveis e limpas que possam propiciar o desenvolvimento de energia de maneira sustentável (TIRADENTES, 2006).

Diante desse contexto, a radiação solar pode ser empregada como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica (PACHECO, 2006). A conversão da energia solar em elétrica ocorre pelos efeitos da radiação – calor e luz – sobre determinados materiais semicondutores. Entre esses, destacam-se o termoelétrico que caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois

metais, em condições específicas, e o fotovoltaico onde os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares (ANEEL, 2003).

Dentre as vantagens da energia solar, Pacheco (2006) destaca-se que a mesma minimiza o pico da demanda de energia durante o dia, não tem emissões de gases estufa durante a geração de energia elétrica e não requer o uso de combustíveis, o que reduz o custo de geração. Acrescenta-se ainda que, como a geração pode ser feita localmente, reduz a necessidade de novas linhas de transmissão e, por conseguinte, possibilita aumento da segurança energética. Soma-se ainda, segundo Tiradentes (2006), o estímulo à conscientização ambiental e sociocultural pelo uso de uma energia limpa e gratuita.

De acordo com Tiradentes (2006, p. 14), “em apenas uma hora o Sol incide sobre a Terra uma quantidade de energia superior ao consumo global de um ano inteiro”. Camargo (2015) ressaltam que a produção solar é menor nos períodos chuvosos, quando se acumula energia nos reservatórios das hidrelétricas, e à noite, período de maior intensidade de geração eólica localizadas no interior dos estados. Em contrapartida, nos dias ensolarados a geração é máxima, o que torna ainda mais vantajoso a utilização de fontes alternativas quando se consideram as dificuldades recentes no setor elétrico brasileiro.

No entanto, é preciso levar em conta que a energia solar é influenciada pelas condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), pela disponibilidade de radiação solar que incide sobre a superfície terrestre e depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Essas condições devem-se ao movimento de rotação - inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente, bem como, ao movimento de translação - trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol, conforme demonstra a Figura 5 (ANEEL, 2003).



Figura 5 - Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol.

Fonte: ANEEL (2003).

Desse modo, a duração solar do dia é variável em algumas regiões e períodos do ano, sendo mais intensas nas regiões polares e nos períodos de solstício. O inverso ocorre próximo à linha do Equador e durante os equinócios (ANEEL, 2003). Camargo (2015) enfatiza que o Brasil tem enorme potencial para a geração de energia solar, como demonstra o Quadro 1 a comparação entre os níveis de irradiação solar e extensão territorial brasileira e de outros países em que essa energia solar é bastante utilizada.

Irradiação solar (kWh/m²/dia)				
País	Mínima	Máxima	Média	Área (mil km ²)
Brasil	4,25	6,75	5,50	8.515,77
Espanha	3,29	5,07	4,18	504,97
França	2,47	4,52	3,49	543,97
Alemanha	2,47	3,42	2,95	357,02

Quadro 1 – Irradiação solar e aérea, por país.

Fonte: CAMARGO (2015).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2012), a irradiação global é relativamente bem distribuída pelas regiões brasileiras. De modo geral, o litoral leste, do Rio Grande do Sul ao recôncavo baiano, apresenta os menores índices de irradiação verificados no país. A região Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação solar global. Os valores máximos de irradiação solar no país são observados na região central do estado da Bahia (6,5

kWh/m²/dia), incluindo parcialmente o noroeste de Minas Gerais. A região Sul apresenta os menores valores de irradiação global média no país.

Dentre os instrumentos comumente utilizados para mensurar a radiação solar, destacam-se o piranômetro e o pireliômetro (Figuras 6 e 7). Enquanto o primeiro destina-se a mediação da radiação solar global, o segundo visa à mediação da radiação solar direta. Contudo, o instrumento de medição direta (pireliômetro) é raramente utilizado devido ao alto custo do equipamento.



Figura 6 - Piranômetro.

Fonte: OLIVEIRA (2001).



Figura 7 - Pireliômetro.

Fonte: OLIVEIRA (2001).

De acordo com Tiradentes (2006) sistemas fotovoltaicos são instalações que tem como finalidade coletar a energia solar e transformá-la em elétrica. Para tanto, faz-se necessária e indispensável a implantação de um sistema fotovoltaico que, normalmente, compõe-se dos seguintes elementos: Uma ou mais placas solares; Regulador de carga; evita sobrecarga ou descarga excessiva da bateria; Banco de baterias; Inversor; transforma a corrente de 12 Vcc em 110 ou 220 Vac; Equipamento 12 v a ser energizado; Equipamento 110 ou 220 V a ser energizado.

O sistema de geração fotovoltaica faz uso de elementos semicondutores fotossensíveis que convertem a radiação solar em uma diferença de potencial nos terminais da junção P-N. A ligação elétrica desses terminais resulta na circulação de corrente contínua. Uma única célula solar produz, em condições nominais de teste, diferença de potencial entre 0,5 e 0,6V e potencia entre 1,0 e 1,5W, de modo que, para uso prático, as células devem ser arranjadas em ligações série paralelo constituindo módulos (painéis) de baixa potência, atualmente de até 250W, com tensão de 12 ou 24V. O arranjo série paralelo de módulos permite o atendimento a cargas maiores (BRASIL, 2012, p. 3).

Os painéis solares (Figura 8) são os principais componentes do sistema fotovoltaico, sendo compostos por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente (ALMEIDA *et al.*, 2012). Uma célula fotovoltaica típica é composta por duas camadas de material “semicondutor dos tipos P e N, uma grade de coletores metálicos e uma base metálica. É constituída por uma camada de material antirreflexivo que é indispensável para aumentar a absorção de luz” (GAZOLI *et al.*, 2013, p.49).



Figura 8 - Painel Solar.

Fonte: PEREIRA *et al.* (2010).

De acordo com Marques *et al.* (2014), os painéis são feitos de células de silício, texturizadas, laminadas e tratadas com materiais específicos que aumentam sua absorção e vida útil. Três tipos de células de silício podem compor esses painéis: as de silício monocristalino que são as mais empregadas devido ao maior percentual de eficiência (entre 15% e 18%) na conversão de luz solar em eletricidade. As células de silício policristalino, cuja eficiência (de até 12,5%) e as de silício amorfo, também conhecidas por filmes finos, as quais, devido ao processo de fabricação relativamente simples e barato, oferecem melhores preços, porém apresentam eficiência entre 5% e 7%. Quanto à estrutura, a parte frontal do painel é revestida com resina ou vidro temperado de alta transparência com resistência à tempestade, neve, granizo, salinidade, umidade e poeira.

Um sistema solar de geração fotovoltaica típico para residências, de acordo com Marques *et al.* (2014), deve ser constituído, conforme a demonstração na Figura 9: painéis ou módulos solares, controlador de carga, baterias, inversor para conversão da tensão CC em CA e outros equipamentos auxiliares, materiais de

estrutura e fixação dos módulos, fiação, medidores, softwares de supervisão e serviço de montagem.

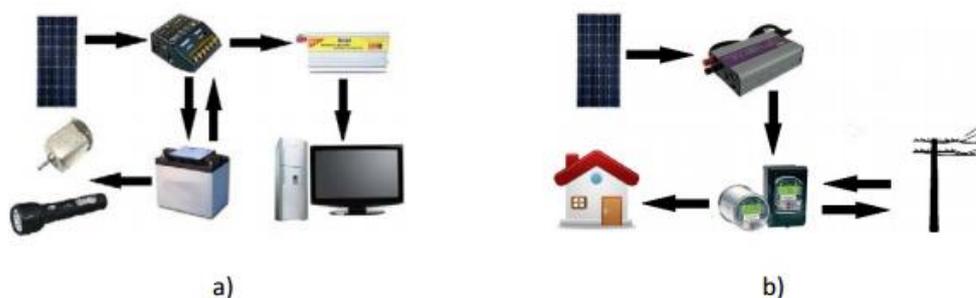


Figura 9: Tipos de sistemas de microgeração fotovoltaico - a) sistemas *offgrid*; b) sistemas *ongrid*.
Fonte: MARQUES *et al.* (2014).

Dentre as vantagens do sistema fotovoltaico, destaca-se a sua eficácia em locais isolados, a facilidade quanto a portabilidade e adaptabilidade dos módulos, tendo em vista que, pode ser arquitetado com modelagens simples e adaptáveis a várias necessidades energéticas, podem ser dimensionados para aplicações de alguns miliwatts ou de kiloWatts, o produto final é não poluente, silencioso e não causa incômodos aos ambientes (PEREIRA *et al.*, 2010).

3.3 CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR EM ENERGIA ELETRICA

Conforme Cabral (2012), a energia solar fotovoltaica é conquistada através da conversão direta da luz em eletricidade, isso se chama Efeito Fotovoltaico. O sistema de conversão, ocorre devido a célula fotovoltaica ser fabricada por um material semicondutor. A energia fotovoltaica é decorrente da conversão da luz solar em corrente elétrica. Este efeito fotovoltaico acontece devido à excitação de elétrons presentes nesses materiais semicondutores, na presença da luz solar. Entre os materiais mais apropriados para uso na conversão da radiação solar e geração da energia elétrica, destaca-se o silício.

Conforme (CEPEL; CRESESB, 2004),

“A separação entre as duas bandas de energia permitida nos semicondutores (gap de energia) é da ordem de 1eV, o que os diferencia dos isolantes onde o gap é de vários eVs. Isto faz com que os semicondutores apresentem várias características interessantes. Uma delas é o aumento de sua condutividade com a temperatura,

devido à excitação térmica de portadores da banda de valência para a banda de condução.”

A Figura 10, mostrada abaixo, ilustra a formação de uma célula fotovoltaica.

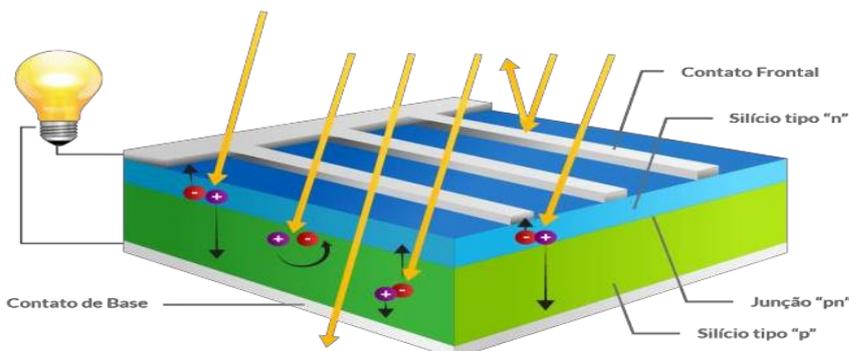


Figura 10 - Formação De Uma Célula Fotovoltaica.

Fonte: CRESESB (2008).

Uma propriedade fundamental para as células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons, na faixa do visível, com energia superior ao gap do material, excitarem elétrons à banda de condução. Este efeito, que pode ser observado em semicondutores puros, também chamados de intrínsecos, não garante por si só o funcionamento de células fotovoltaicas. Para obtê-las é necessária uma estrutura apropriada para que os elétrons excitados possam ser coletados, gerando uma corrente útil. Ainda assim, do ponto de vista da engenharia, o melhoramento dos índices de eficiência é um dos principais desafios e fontes de pesquisa. (CEPEL - CRESESB, 2004).

Para se conseguir a tensão e corrente suficientes para alimentar um determinado sistema, se faz necessário o agrupamento dessas células em arranjos (ZANIRATO et al., 2011, p.20). De acordo com Ruther (2004), “a quantidade de células fotovoltaicas conectadas em série determina a tensão do sistema, já a corrente é definida pela conexão em paralelo dessas células”.

Segundo Cabral (2004), o comportamento dos módulos fotovoltaicos é motivado, principalmente, pela potência luminosa no posicionamento dos módulos e temperatura das células. Com o acréscimo da temperatura ou redução da potência luminosa, percebe-se uma diminuição do rendimento das células.

As células fotovoltaicas estão divididas em três grandes grupos, três gerações, conforme a sua eficiência. De acordo com Padmanabhan (2008), vêm sendo feitos esforços para aumentar a sua eficiência, onde a primeira geração de

células fotovoltaicas comanda a produção comercial, com cerca de 89,7% em 2007. A elaboração do painel tem com embasamento a junção p-n simples de silício, onde o painel coletor é montado em uma estrutura metálica, com uma média de rendimentos de conversão que giram em torno dos 20% essas são as principais características dos painéis solares de primeira geração.

Dito isto, na Figura 11, pode-se observar o circuito equivalente que descreve o funcionamento interno de uma célula quando submetida à radiação solar.

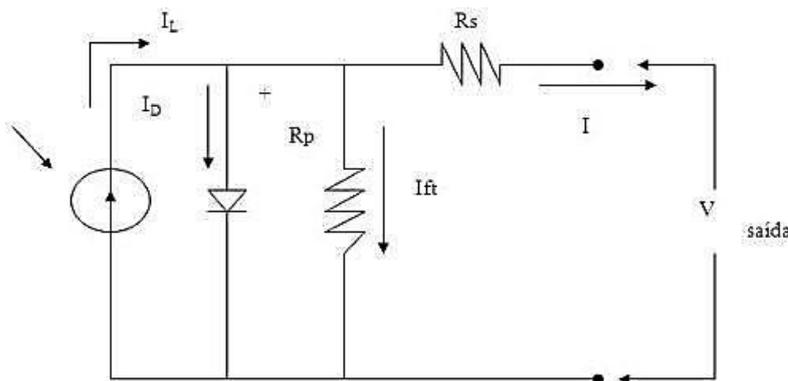


Figura 11 - Circuito Elétrico Equivalente de uma Célula Fotovoltaica.

Fonte: Fadiga (2008).

As letras descritas nas imagens representam:

I_L = Corrente gerada pela incidência da radiação.

I_D, I_0 = Corrente de saturação do diodo.

I_{ft} = Corrente de fuga para terra.

I = Corrente nos terminais de saída.

R_p = Resistência shunt.

R_s = Resistência série.

Na condição de temperatura e radiação fixa a característica de tensão e corrente desse modelo é dado pela Equação 1, abaixo:

$$I = I_L - I_D - I_{ft} = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{V + I R_s}{a} \right] - 1 \right\} - \left(\frac{V + I R_s}{R_p} \right) \quad (1)$$

A resistência em série representa a resistência interna à passagem da corrente e depende da espessura da junção, das impurezas do material e resistência de contato. Numa célula ideal, $R_s = 0$ (nenhuma perda interna) e $R_p = \infty$ (nenhuma corrente para terra). Quando uma célula ou conjunto de células (módulo) está

posicionado em direção ao sol, pode-se medir a tensão nos seus terminais. Se nenhuma carga está ligada aos mesmos, ou seja, o circuito está em aberto, nenhuma corrente flui e, portanto, a tensão medida é a tensão de circuito aberto.

3.4 SISTEMAS *ONGRID* E *OFFGRID*

De acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos – (CRESESB 2004) os sistemas solar pode ser dividido em três categorias, são eles: isolados, híbridos ou conectados à rede. A utilização de cada uma dessas opções dependerá da aplicação e/ou da disponibilidade de recursos energéticos. Cada um possui as suas características distintas entre eles e a principal diferença entre eles é a necessidade ou não de complementares, seja de acumulação de carga, de controle ou de geração complementar.

Sistemas Off Grid: Os sistemas isolados ou autônomos podem ser instalado com ou sem armazenamento de energia, este armazenamento é feito usando baterias, para poder garantir o funcionamento do sistema em períodos com pouco ou mesmo nenhuma irradiação solar. Esse sistema libera uma corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA). No sistema CC, a energia fica acoplada diretamente ao painel solar, deste modo ela é instantaneamente consumida (ex.: acionamento de bombas). Já no sistema CC com o armazenamento de energia em baterias, é possível utilizar os equipamentos elétricos em momento que já pouca irradiação solar ou no período noturno em que não há irradiação (ex.: iluminação, telefone). Nesses sistemas é comum usar um controlador de carga, para gerenciar a carga que vai fornecer, evitando uma sobrecarga. Nos sistemas CA, com ou sem armazenamento de energia, é necessário o uso de um inversor, que consiste em converter a tensão de entrada CC em uma tensão de saída CA simétrica de amplitude e frequência desejadas. (Kaufmann, 2012). A Figura 12 representa um sistema *off grid* com bateria.

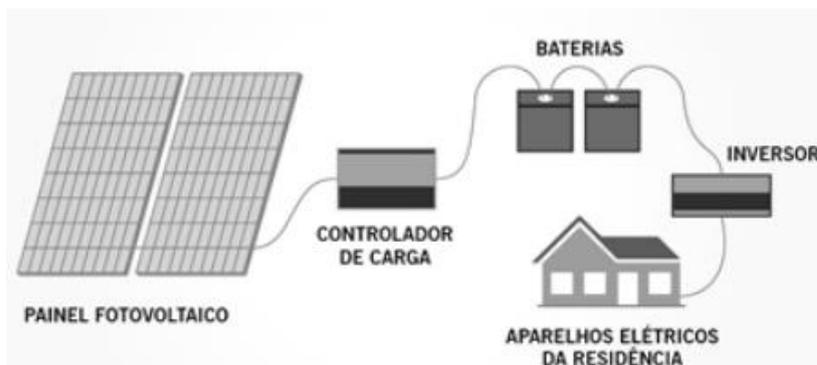


Figura 12 - Sistema isolado *off-grid*.

Fonte: Trevelin (2014).

Sistemas Híbridos: Consistem na utilização de mais de uma forma de geração de energia como, por exemplo: painéis solares, geradores eólicos, geração diesel, entre outros. Com o uso de várias formas de geração de energia, é necessário um controle das fontes para que a um máximo de aproveitamento do sistema. Geralmente é implantado em sistemas de médio ou grande porte destinados a atender um número maior de usuários (CRESESB, 2008). Um exemplo de sistema híbrido pode ser visualizado na Figura 13, com um painel fotovoltaico ligado junto a um aero gerador.

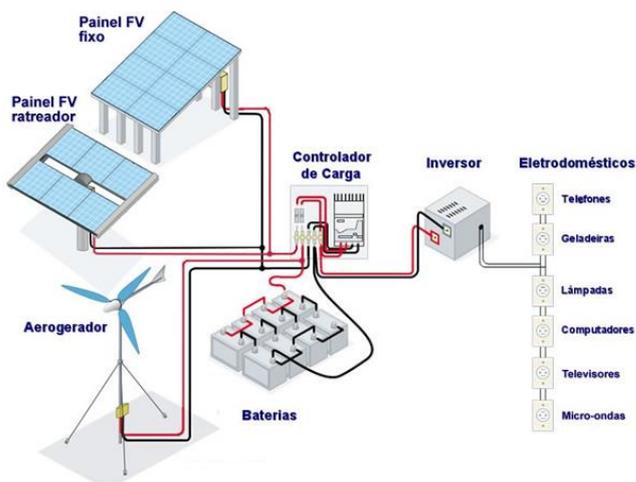


Figura 13 - Sistema híbrido com energia eólica e solar.

Fonte: CRESESB (2018).

Sistemas *On Grid*: Os sistemas conectados à rede ou Grid-tie são de um único tipo e normalmente o arranjo fotovoltaico representa uma fonte complementar ao sistema elétrico no qual está conectado. São sistema que não dependem de armazenamento de energia em baterias, pois toda a potência gerada é entregue

à rede (Oliveira, 2007). As potências instaladas podem ser desde kWp (quilowatts pico) em instalações residenciais, até alguns MWp (megawatts pico) em grandes sistemas operados por empresas (CRESESB, 2004). O funcionamento desse sistema pode ser observado na Figura 14.

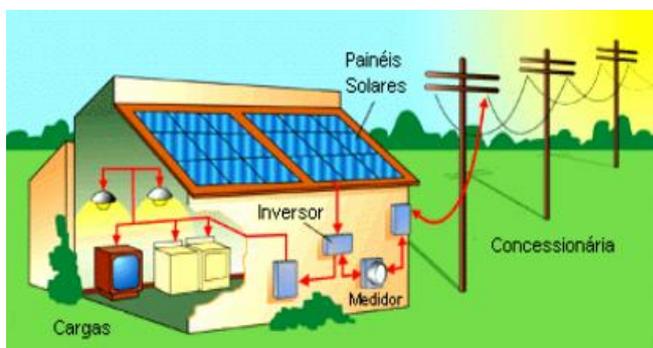


Figura 14 - Sistema *on grid*.

Fonte: Rodrigues (2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização deste estudo, inicialmente foi feito uma visita técnica ao estacionamento interno da Faculdade MULTIVIX em São Mateus - ES, para o levantamento dos dados necessários a fim de apresentar uma solução técnica para iluminação do mesmo via energia solar. Conforme mostra a Figura 15 abaixo, trata-se de uma área de 5.500 m² descoberta, com 7 postes existentes atendendo a demanda de iluminação, foi identificada então a necessidade de redimensionamento do sistema de iluminação do local. Ainda em visita técnica obtivemos as informações do horário de funcionamento desses postes que trabalhavam cerca de no mínimo 6 horas, e no máximo 8 horas por dia.



Figura 15 - Vista aérea da área do estacionamento da Faculdade MULTIVIX São Mateus ES.
Fonte: Google Maps (2018).

Entrando com concordância com Guerrini (2015) para um projeto de iluminação ser considerado bom deve atender a satisfação das condições, de conforto, segurança, e economia que vem a ser de indispensável relevância na engenharia. Para projetos desta categoria existe uma norma, a qual, “estabelece os valores de iluminância médias mínimas em serviço para iluminação artificial, em interiores onde se realizam atividades de comércio, indústria, ensino, esportes e outras.” (ABNT NBR 5413, 1992).

Mas não diz nada sobre estacionamento externo, uma vez que esta norma é específica para interiores. Contudo, na falta de algum critério que determina a quantidade mínima de iluminância necessária a ser aplicado em estacionamento, vamos nos basear na quantidade de 50 lux (média) para este ambiente, veja o Quadro 2 de equivalência abaixo.

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade / Ambiente
A Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples.	20 – 30 – 50	Áreas públicas com arredores escuros.
	50 – 75 – 100	Orientação simples para permanência curta.
	100 – 150 – 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos.
	200 – 300 – 500	Recintos não usados para trabalho bruto de maquinário, auditório.
B Iluminação geral para área de trabalho.	500 – 750 – 1000	Tarefas com requisito visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000 – 1500 – 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis.	2000 – 3000 – 5000	Tarefas com Requisito Especial, gravação.
	5000 – 7500 – 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.

	10000 – 15000 – 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.
--	-----------------------	--

Quadro 2 - Iluminância por classe de tarefas visuais.

Fonte: ABNT NBR 5413 (1992).

Logo, com o total da área do estacionamento, foi calculada a quantidade de luminárias necessárias considerando a quantidade mínima de iluminância adotada.

Foi utilizado a Equação 2 na qual refere-se ao cálculo de iluminância, que auxiliou para encontrar a quantidade de lumens necessária:

$$\frac{\text{Lumens (lm)}}{\text{Área (m}^2\text{)}} = \text{Iluminância (lx)} \quad (2)$$

Em que,

Lumens (lm) = fluxo luminoso de uma lâmpada.

Iluminância (lx) = luminosidade incidente.

Área (m²) = área de incidência da irradiação.

Para encontrar os lumens necessários, bastou utilizar a Equação 2 acima e passar para o outro lado multiplicando a área pela iluminância, encontrando assim os lumens necessários para a área de 5.500 m².

$$\text{Lumens (lm)} = 50 \text{ (lx)} \times 5500 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{Lumens} = 275000 \text{ lm}$$

Após reconhecida a quantidade de lumens necessária para a área do estacionamento, foi preciso calcular a quantidade de luminárias necessárias para atender este valor. Levando em consideração que o melhor método para se encontrar o total necessário de luminárias, foi através da Equação 3 a seguir:

$$\text{Total necessário de luminarias} = \frac{\text{lumens da área}}{\text{lumens da luminária adotada}} \quad (3)$$

Em que,

Lumens da área = quantidade de lumens para a área de 5.500 m².

Lumens da luminária adotada = quantidade de lúmens da luminária.

Mas para a resolução da Equação 3 acima, faltou um dado que foi o da variável que quantifica os lumens da luminária adotada, como o estudo proposto não se estende a fabricação destas luminárias, para obter esse dado foi preciso fazer uma análise sobre os modelos de luminárias disponíveis para aquisição. Atualmente no mercado existem vários modelos de luminárias fotovoltaicas completas prontas para instalação e uso, que atendem as mais diversas aplicações, porém não incluso o poste.

A luminária que atendeu melhor ao projeto, foi o modelo CEZ – 80 fabricada pela EcoSoli uma empresa Brasileira. Veja a seguir a Tabela 1 que lista os materiais que compõem o modelo CEZ – 80.

Tabela 1 - Lista de materiais da luminária adotada.

Materiais
Lâmpada LED 80 W
Placa solar fotovoltaica
Bateria de lítio
Sensor fotoelétrico
Medidor de voltagem e consumo

Fonte: Catalogo EcoSoli – Soluções em Energia Solar e Eficiência Energética (2018).

O equipamento, segundo o fabricante, é resistente à água com grau de proteção IP65, o material da luminária é fabricado em alumínio, a bateria tem autonomia de 8 a 11 horas, o equipamento liga ao escurecer e desliga ao amanhecer, possui peso de 13,0 kg (sem o poste), com placa solar de 55 cm de comprimento x 53 cm de largura x 5 cm de altura, já a luminária possui 72 cm de comprimento x 30 cm de largura e estrutura para instalação (braço) de 70 cm. Veja a Figura 16 a seguir:



Figura 16 - Luminária CEZ – 80 adotada.

Fonte: Catalogo EcoSoli – Soluções em Energia Solar e Eficiência Energética (2018).

Conforme catalogo de produto do próprio fabricante, a luminária adotada possui lâmpada LED de 80 W que equivale a 7.200 lumens. Veja o Quadro 3, abaixo:

MODELO	CÓDIGO	QUANTO ILUMINA	INDICAÇÃO DE USO
Poste solar Modelo CEZ – 80	ECO – CEZ80	7200 Lumens (80W LED)	Rua, Lotes e condôminos.

Quadro 3 - Padrões da luminária adotada.

Fonte: Catalogo EcoSoli - Soluções em Energia Solar e Eficiência Energética, 2018.

Em posse da quantidade de lumens da luminária adotada, dado esse que faltava para dar seguimento ao calculo da Equação 3 citada anteriormente neste capítulo, substituímos então as variáveis pelos dados.

$$\textit{Total necessário de luminarias} = \frac{275000}{7200}$$

$$\textit{Total necessário de luminarias} = 39 \textit{ luminárias}$$

Temos que distribuir aproximadamente 40 luminárias de 7200 lúmens cada (80 W LED) na área total do estacionamento da Faculdade Multivix São Mateus - ES. Foi adotado esse padrão com mais lúmens, porque existe uma depreciação do fluxo luminoso basicamente por dois motivos, a existência de um difusor que reduz a emissão da luz para o ambiente e a depreciação do fluxo luminoso ao longo do tempo. Pois a única maneira de conseguir uma avaliação precisa do nível de iluminância é com a utilização de um luxímetro ou fotômetro.

Para demonstrar como ficou o redimensionamento do sistema de iluminação do local de estudo foi projetada a planta baixa com as 40 luminárias corretamente posicionadas na área do estacionamento multivix São Mateus-ES.

De acordo com o Catalogo EcoSoli (2018) a altura recomendada para a instalação das luminárias são de 6 a 8 metros de altura, com distancias recomendadas entre os postes de 15 a 20 metros. Veja a Figura 17 abaixo:

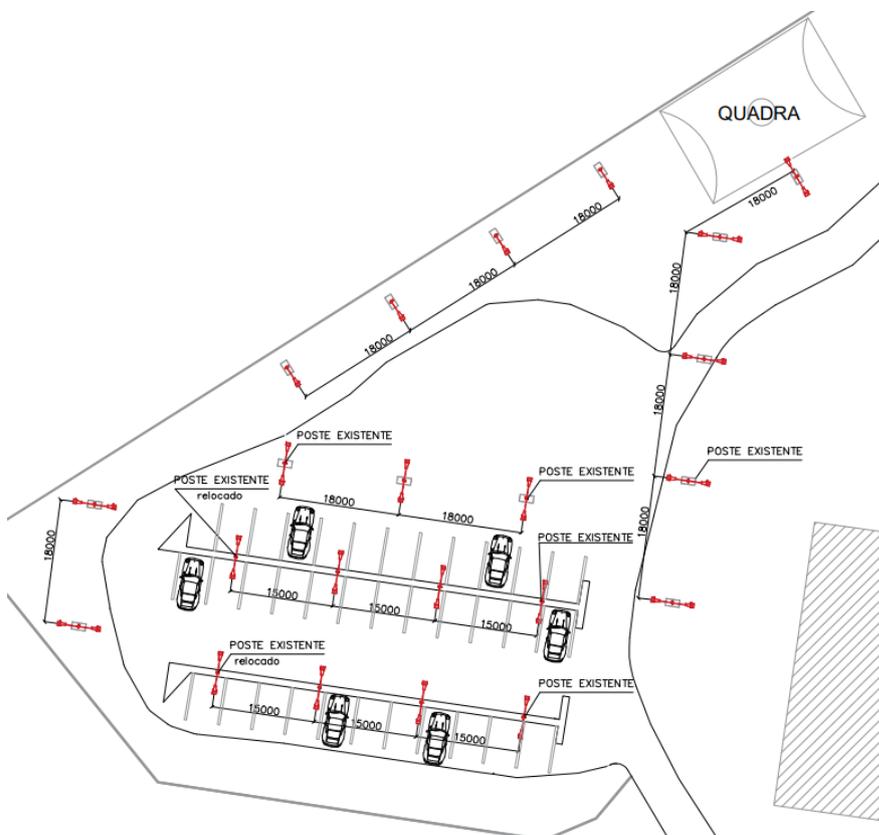


Figura 17 - Planta baixa do posicionamento dos novos postes redimensionados.

Fonte: Autores.

Depois de definir as luminárias e redimensionar as mesmas, vêm as considerações de custo do investimento, conforme anteriormente foram comentadas, as luminárias com placas fotovoltaicas adotadas vieram prontas para instalação e uso, o fabricante escolhido vende as luminárias para todo o país a um custo aquisitivo bom.

Mas no mercado também existem revendedores que oferecem o mesmo modelo adotado com preços distintos, na cidade de São Mateus no Espírito Santo local o qual o estudo é proposto há um fornecedor revendedor das luminárias com placas fotovoltaicas da marca EcoSoli, inclusive, é um fornecedor local que trabalha com mão de obra qualificada e especializada em instalações de geração de energia nas mais diversas categorias.

Para calcular o investimento foi realizado um orçamento do produto a ser adquirido, conforme foi citado acima temos um revendedor como fornecedor local, a própria fabricante que vende o produto pelo *site* e outro revendedor que também oferta o mesmo modelo do produto em um *site*, todos com preços distintos. Com base nessa pesquisa foi montada a Tabela 2 a seguir para facilitação de entendimento.

Tabela 2 - Orçamento das Luminárias Adotadas.

Fornecedor	Produto	Qtd.	Instalação (R\$)	Preço (R\$)	Frete (R\$)	Total (R\$)
Montec (fornecedor local)	Poste Solar LED CEZ-80	40	5.000,00 R\$	2.300,00	-	97.000,00
eCycle	Poste Solar LED CEZ-80	40	-	2.340,00	133,88	93.733,88
EcoSoli	Poste Solar LED CEZ-80	40	-	2.099,00	0,00	83.960,00

Fonte: Autores.

Nota-se acima, conforme destacado que apesar de não fornecer a instalação inclusa, a fabricante nacional EcoSoli se destacada com o menor custo orçado, com descontos e frete grátis. A revendedora eCycle é a que possui o valor mais alto do produto em tabela, instalação não inclusa e frete cobrado ao consumidor.

Visto que o revendedor local Montec tem o segundo preço aquisitivo mais alto do produto em tabela, com valor de instalação cobrado, e fixo, para produtos adquiridos em loja quanto para produtos adquiridos por terceiros. Dada essa opção de contratação exclusiva da mão-de-obra especializada da empresa local, se somada com os valores totais dos fornecedores de *web sites* cotados acima, a EcoSoli fabrica do modelo CEZ – 80 ainda mantém o destaque de melhor custo

benefício, vindo a ser o fornecedor escolhido para compra do produto e a Montec empresa responsável pela instalação do produto adotado.

Porém, de posse só destas cotações ainda não se poderia definir o preço final do estudo proposto, houve a necessidade de locar mais postes, pois os existentes na área não são suficientes para atender o local segundo a equação 3 realizada anteriormente.

Foi decidido manter os postes já existentes e o padrão dos mesmos, para definir a quantidade de postes que foram adquiridos é importante ressaltar os detalhes da Figura 17, que mostra acima que as luminárias do interior do estacionamento são duplas e as luminárias do perímetro do estacionamento são simples, levando em conta essa informação, junto com o que foi falado de já existir 7 postes, foi realizado orçamento para 15 postes retos. Veja a Tabela 3 a seguir:

Tabela 3: Orçamento dos Postes Adotados.

Fornecedor	Produto	Qtd.	Instalação (R\$)	Preço (R\$)	Frete (R\$)	Total (R\$)
Fornecedor Local	Poste Reto	15	-	400,00	-	6.000,00
EcoSoli	Poste Reto	15	-	590,00	0,00 R\$	8.850,00

Fonte: Autores.

Foram orçados os preços com apenas dois fornecedores, um local no qual se destacou com o melhor custo benefício e outro *web site* que apesar do frete grátis não conseguiu cobrir a oferta do fornecedor local, vindo então a ser o escolhido para realizar a compra.

Como todos os dados das variáveis foram reconhecidos, foi efetuada a soma que define o valor total do estudo proposto. Veja a Equação 4 a seguir:

$$\text{Valor Total} = \text{Poste} + \text{Luminarias} + \text{Mão de Obra} \quad (4)$$

$$\text{Valor Total} = 6.000,00 \text{ R\$} + 83.960,00 \text{ R\$} + 5.000,00 \text{ R\$}$$

$$\text{Valor Total} = 94.960,00 \text{ R\$}$$

De posse do valor total, para finalizar o demonstrativo de viabilidade do estudo, a seguir foi descrito os cálculos do consumo de energia elétrica, antes da implantação dos postes solares.

Considerando que anteriormente existiam no estacionamento apenas 7 postes, cada poste possuindo 4 luminárias de 250W, para calcular o total em kW de potência consumida por estes postes foi utilizada a Equação 5 a seguir:

Potência Consumida

$$= N^{\circ} \text{ de postes} \cdot N^{\circ} \text{ de luminarias} \cdot \text{Potência da luminaria} \quad (5)$$

Onde, foi multiplicado a sua quantidade, pela a sua potência, que também foi multiplicada pela quantidade de postes, dados esses que já foram fornecidos acima.

Substituindo os valores na Equação 5, obteve-se o valor da potência consumida.

$$\text{Potência Consumida} = 7 \cdot 4 \cdot 250 \text{ W}$$

$$\text{Potência Consumida} = 7 \text{ kW}$$

Os antigos postes funcionavam no máximo 6 horas por dia, em um total de 22 dias no mês a uma tarifa de energia elétrica (TUSD + TE) de R\$ 0,51242 por kWh segundo o Quadro 4.

SUBGRUPO	TUSD Tarifas do Uso de Sistema de Distribuição (R\$/kWh)	TE Tarifas de Energia (R\$/kWh)	TUSD + TE (R\$/kWh)
B1 – Residencial – Baixa Renda			
Consumo mensal até 30 kWh	0,07319	0,10616	0,17935

Consumo mensal entre 31kWh e 100kWh	0,12547	0,18199	0,30746
Consumo mensal entre 101 kWh e 220 kWh	0,18820	0,27298	0,46118
Consumo mensal superior 220 kWh	0,20911	0,30331	0,51242

Quadro 4: Tarifas EDP Adaptado.

Fonte: EDP Espírito Santo, 2018.

Para demonstrar o valor em reais que era pago todo fim de mês, foi utilizada a Equação 6 abaixo:

$$\text{Valor do consumo} = P_c \cdot H_f \cdot D \cdot T_e \quad (6)$$

Em que,

P_c = Potência consumida (kW).

H_f = Horas de funcionamento (h).

D = Dias de funcionamento no mês (dias).

T_e = Tarifa de energia (R\$/ kWh).

Onde foi multiplicada a potência consumida pelas horas de funcionamento, que também foi multiplicado pelos os dias do mês e tarifas de energia, dados esses que já foram citados acima.

$$\text{Valor do Consumo} = 7kW \cdot 6h \cdot 22 \text{ dias} \cdot R\$ 0,55/kWh$$

$$\text{Valor de Consumo} = R\$ 508,20/\text{mês}$$

Considerando que o projeto proposto é de um sistema *offgrid*, no qual tem independência total de companhias elétricas, também foi analisado a possibilidade do sistema ser híbrido ou *ongrid*, porém a potência fornecida pelo painel solar durante as 12 horas de irradiação que há em um dia é suficiente

para recarregar a bateria de cada luminária adotada, descartando a possibilidade do sistema ser híbrido ou *ongrid*.

O estudo teve o valor total da implantação de R\$ 94.160,00. Para começar a demonstrar em quanto tempo o projeto se quitará foi efetuada a Equação 7 abaixo:

$$\begin{aligned} & \text{Valor de consumo por ano} \\ & = \text{Valor de consumo por mês} \cdot \text{meses do ano} \quad (7) \end{aligned}$$

Onde, o valor de consumo por ano é dado pela multiplicação do valor consumido por mês pela quantidade de meses de um ano.

$$\text{Valor de consumo por ano} = R\$ 508,20 \cdot 12 \text{ meses}$$

$$\text{Valor de consumo por ano} = R\$ 6.098,40/\text{ano}$$

Portanto, de posse do valor consumido por ano do antigo sistema de iluminação do estacionamento Multivix São Mateus – ES, para terminar de demonstrar o período de tempo que o projeto se quitará foi feita a Equação 8 a seguir:

$$\begin{aligned} & \text{Tempo para o pagamento do projeto} \\ & = \frac{\text{Valor total da implantação}}{\text{Valor de consumo por ano}} \quad (8) \end{aligned}$$

Onde, o tempo para o pagamento do projeto foi encontrado a partir da divisão do valor total da implantação pelo valor de consumo por ano.

$$\text{Tempo para o pagamento do projeto} = \frac{R\$ 94.960,00}{R\$ 6.098,40/\text{ano}}$$

$$\text{Tempo para o pagamento do projeto} = 15 \text{ anos}$$

De acordo com a Equação 8 acima o projeto implantado se pagará com 15 anos de funcionamento, e através de conhecimento adquiridos ao longo do curso é possível afirmar que a vida útil das placas solares gira entorno de 20 a 25 anos. Desta forma fica explícita a viabilidade da implantação desde projeto, visto que trás benefícios socioambientais, acadêmicos e econômicos.

Veja as Figuras 18, 19, 20, 21 e 22 que demonstram como ficou o sistema de iluminação do estacionamento da Faculdade MULTIVIX São Mateus – ES após a implantação do projeto.



Figura 18 – Vista noturna frontal do Estacionamento Multivix São Mateus – ES.

Fonte: Autores.



Figura 19 – Vista noturna Lateral do estacionamento Multivix São Mateus – ES.

Fonte: Autores.



Figura 20 – Vista noturna Lateral do estacionamento Multivix São Mateus – ES.

Fonte: Autores.



Figura 21 – Vista área do Estacionamento Multivix São Mateus – ES.

Fonte: Autores.



Figura 22 – Vista lateral do Estacionamento Multivix São Mateus – ES.

Fonte: Autores.

Os resultados alcançados ao longo deste estudo foram bastante positivos, pois conseguiram atender todos os parâmetros para um projeto ser considerado bom com excelência.

A partir destes resultados foi concluído que a implantação dos painéis fotovoltaicos nos postes do estacionamento da Faculdade do Norte Capixaba MULTIVIX São Mateus – ES atingiram os objetivos de economia, de sustentabilidade através de energia renovável, agregando ainda uma atração acadêmica para os graduandos da instituição e tornando-se projeto modelo no município.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo teve por finalidade uma análise da viabilidade técnica, para implantação de postes solares no estacionamento da

Faculdade Multivix São Mateus – ES, uma reflexão quanto aos benefícios e as dificuldades ao se utilizar este tipo de tecnologia, além disso, nos permitiu um conhecimento mais aprofundado sobre os temas, painéis fotovoltaicos e energia solar.

No primeiro momento da pesquisa, foi feita uma visita ao estacionamento da instituição, para fins de conhecimento do local a ser estudado e também, para coleta de dados, que posteriormente foram usados junto ao estudo. Através dos resultados obtidos, pôde-se perceber que o projeto implantado se pagará com 15 anos de funcionamento, onde através dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Engenharia Mecânica, é possível estabelecer que a vida útil das placas solares gira entorno de 20 a 25 anos. Diante disso, podemos dizer que após o décimo quinto ano de operação do sistema, os anos seguintes serão todo com retorno financeiro direto, para a instituição.

Nesse sentido, pudemos comprovar por meio do estudo, que a implantação dos postes solares no estacionamento da faculdade, foi um investimento benéfico, que em longo prazo trará um lucro significativo, além do que, a faculdade será observada como um modelo a ser seguido e terá algo de muito valor a ser copiado, podendo receber visitantes de todas as partes para observação e estudo, através de visitas técnicas, obetendo assim, um grande diferencial perante outras instituições no quesito sustentabilidade.

Em relação a projetos futuros, e com base nos resultados obtidos, este estudo proporciona a faculdade, a oportunidade para avaliar a possibilidade de futuramente fazer a implantação do sistema de painéis fotovoltaicos para gerar energia, para toda a instituição e não somente em seu estacionamento, e assim diminuir os gastos com a compra de energia junto à concessionária distribuidora, além de buscar se tornar uma empresa sustentável.

No sentido de colaborar em artigos futuros, para possíveis interessados no tema de energia solar, podemos sugerir estudos mais aprofundados em relação a criação de projetos de utilização de energia solar térmica, para aquecimento da água residencial, em regiões de baixas temperaturas, podemos indicar também pesquisas referente a viabilidade técnica na instalação de painéis fotovoltaicos

para geração de energia elétrica em escolas que ficam situadas em regiões que ainda hoje possuem baixo acesso a energia elétrica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Energia Solar**. 2003. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf). Acesso em: 05 de maio 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ª ed. Brasília. ANEEL. 2005. p. 35.

ALMEIDA, E. *et al.*. **Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica**. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413: iluminância de interiores**. ABNT, 1992.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. BEN - **Balço Energético Nacional**. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética. 2017. p. 16.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. BEN - **Balço Energético Nacional**. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética. 2018. p. 14-16.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. BEN - **Balço Energético Nacional**. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética. 2013. p.16.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

CABRAL, C. V. T.; NETO, L. V. B. M.; FILHO, D. O.; DINIZ, A. S. A. C. **Modelagem e simulação de gerador fotovoltaico**. In CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUIDA E ENERGIA NO MEIO RURAL 5. 2004, Campinas.

CABRAL, Isabelle; VIEIRA, Rafael. **Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente**. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO, 2012.

CAMARGO, F. **Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas**. Brasília: WWW Brasil, 2015.

CATÃO, Luana. CARDOSO, Pedro Ricardo. **Desafios Do Desenvolvimento Sustentável: Estudo Sobre As Mudanças Na Matriz Energética Brasileira**. Vol. 1. Niterói. (Graduação em Engenharia Química) Universidade Federal

Fluminense - Escola de Engenharia - Departamento de Engenharia Química e de Petróleo. 2016. p. 38-39.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**. Trabalho Acadêmico de Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos / Rio de Janeiro, CRESESB, 2004.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito – **CRESESB**. 2018. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=cse_sistema_fotovoltaico. Acesso em: 30 out. 2018.

CEPEL - CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO – Trabalho Acadêmico de Energia Solar – GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Edição Especial**. PRC – PRODEEM. RIO DE JANEIRO. 2004.

COUTINHO, Mateus. **Perspectivas energéticas Brasileiras de 2005 a 2030**. Vol. 1. Florianópolis. (Graduação em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC Centro Sócio Econômico - Departamento de Economia e Relações Internacionais. 2015. p. 30.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. RIO DE JANEIRO. 2008.

DE OLIVEIRA COUTINHO, Mateus. **Perspectivas energéticas Brasileiras de 2005 a 2030**. Vol. 1. Florianópolis. (Graduação em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC Centro Sócio Econômico - Departamento de Economia e Relações Internacionais. 2015. p. 30.

DIEHL, Astor Antônio; TATIM, Denise Carvalho. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. Pearson Brasil, 2004.

EcoSoli, **EcoSolis Soluções em Energia Solar e Eficiência Energética**. Disponível em: <https://www.ecosoli.com.br/lampada-solar/poste-solar/poste-led-energia-solar-iluminacao-luz-modelo-cez-80.html>. Acesso em: 03 23 out. 2018.

Energia Eólica: Princípios e Tecnologia. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-. Acesso em: 27 out. 2018.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. PEA –2420 PRODUÇÃO DE ENERGIA, GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo. S.D. 2008.

FARIAS, Leonel; SELLITTO, Miguel. **Uso da energia ao longo da história**:

evolução e perspectivas futuras. Vol. 1. Novo Hamburgo. Revista Liberato. 2011. p. 8-9.

FELIX, Vagner. SANTOS, Joel. **Gestão Ambiental e Sustentabilidade: Um Estudo casos Múltiplos no Setor Hoteleiro do João Pessoa.** Vol 10. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – UFSM. 2013. p. 2186.

FREITAS, Giovana; DATHEIN, Ricardo. **As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental.** Vol. 7. Salvador. Revista Nexos Econômicos – UFBA. 2013. p. 71-94.

GAZOLI, J. R. *et al.* **Energia solar fotovoltaica.** 2013. Disponível em: http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed81_fasc_. Acesso em: 06 de maio 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

Governo do Estado do Espírito Santo. **Energia Solar no Espírito Santo - Tecnologias, Aplicações e Oportunidades.** Espírito Santo. ASPE - Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo. 2017. p. 18.

GUERRINI, P.D. **Iluminação: Teoria e Projeto.** 2.ed. São Paulo, 2015. 87p.

KAUFMANN, G. V. **Avaliação do potencial de geração solar fotovoltaica e análise em tempo real da operação de um painel fotovoltaico instalado na cidade de Lajeado/RS.** Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciência Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2012.

MARQUES, A. A. *et al.* **Energia solar fotovoltaica em unidades residenciais: estudo de caso.** 2014. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/view/1258/166> Acesso em: 06 de maio 2018.

MORAES, Daniel. SANTOS, Marcelo. BALDISSERA, Luciano. **A Implantação da Geração de Energia Elétrica de Forma Distribuída como Vetor de Busca pelo Desenvolvimento Sustentável.** Edição 2013. Santa Maria – RS. 2º Congresso Internacional de Direito e Contemporaneidade – UFSM. 2013. p 614.

OLIVEIRA, K. C. **Avaliação da conversão da energia fotovoltaica em sistemas isolados.** Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

OLIVEIRA, L. S. **Estimativa da radiação solar direta na incidência nas partições instantânea, horária e diária a partir da radiação solar global.** 2001. 61f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP. BOTUCATU, 2001.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, n.149, p.4-11, 2006.

PADMANABHAN, Balaji “**Modeling of Solar Cells**”, Dissertação de Mestrado, USA. State University, November 2008.

PEREIRA, K. C. *et al.* Uso de painéis solares e sua contribuição para a preservação do meio ambiente. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 1, p. 411-415, 2010.

RODRIGUES, Raniere; SCHRAMM, Fernando; PEREIRA, Aline Fabiana; DUMKE, Denise; BERZAQUEN, Abraham. **O uso de energia oriunda de fontes renováveis nas indústrias brasileiras: uma questão de sustentabilidade**. Vol. 1. Bauru. XIII SIMPEP – UNESP. 2006. p. 03.

RODRÍGUEZ, Carlos Roberto Cervantes. **Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. Monografia (Pós-graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual De Campinas. Campinas, jul. 2002.

RSDezoito. **Energia Solar: Você sabe o que é Energia Limpa**. LGL Solar Treinamentos. fev. 2018. Disponível em: <http://lgsolar.com.br/blog/energia-solar/voce-sabe-o-que-e-energia-limpa/>. Acesso em: 30 out. 2018.

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. UFSC, LABSOLAR Florianópolis, 2004.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. A pesquisa e suas classificações. _____. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**, v. 3, p. 19-23, 2005.

TIRADENTES, A. A. R. **Uso da energia solar para geração de eletricidade e para aquecimento de água**. 2006. 54f. Monografia (Pós Graduação *Lato Sensu*). Lavras, 2006.

TREVELIN, Felipe Camargo. **Estudo comparativo entre métodos de rastreamento solar aplicados a sistemas fotovoltaicos**. Monografia (Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.

TROMBETTA, Jaqueline. **Emissões de Metano e de Óxido Nitroso em área de Arroz Irrigado Influenciadas por Sistemas de Preparo do Solo**. Vol.1. Pelotas. (Mestrando em Ciências). UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. 2014. p. 14.

VIEIRA, Marta. **Falta de Chuvas vai deixar conta de Energia até 7% mais cara**. Set. 2017. Disponível em:

https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2017/09/16/internas_economia,901046/conta-de-luz-mais-cara-com-estiagem.shtml. Acesso em: 27 out. 2018.

VIEIRA, Marta. **Falta de Chuvas vai deixar conta de Energia até 7% mais cara.** Set. 2017. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2017/09/16/internas_economia,901046/conta-de-luz-mais-cara-com-estiagem.shtml. Acesso em: 27 out. 2018.

WORLD ENERGY OUTLOOK. **International Energy Agency.** Paris. 2012. p 8.

ZANIRATO, L. D. et al. **Técnicas De Bombeamento De Flúidos Aplicando Energia Solar Fotovoltaica.** Universidade Tecnológica Federal Do Paraná Departamento Acadêmico De Eletrotécnica Curso De Engenharia Industrial Elétrica, Ênfase Eletrotécnico. CURITIBA. 2011.