

Dimensionamento de uma planta industrial através de painéis fotovoltaicos

Sizing of an industrial plant using photovoltaic panels

DOI:10.34117/bjdv7n7-208

Recebimento dos originais: 07/06/2021

Aceitação para publicação: 08/07/2021

Alan Kardec Candido dos Reis

Mestre em Sistemas de Energia-UFU

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

alan.reis@uemg.br

Luis Antonio de Moraes Filho

Graduado em Engenharia Elétrica- (UEMG).

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

luiz.engeprom@gmail.com

Nayane Martins Soares Oliveira

Graduada em Engenharia Elétrica-(UEMG)

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

nayanemsoliveira@hotmail.com

Saulo de Moraes Garcia Júnior

Mestre em Engenharia Elétrica-UFU

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

saulo.junior@uemg.br

Adriana de Souza Guimarães

Mestre em Ciência da Computação-UFU

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

adriana.guimaraes@uemg.br

Emerson Carlos Guimarães

Mestrando em Engenharia Mecânica-UFU

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

emerson.guimaraes@uemg.br

Olavo Antonio de Oliveira Reis

Especialista em Engenharia Elétrica
Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)
Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba - MG
Olavo.reis@uemg.br

Eronides Alves de Oiveira Filho

Especialização em Engenharia De Automação E Eletrônica Industrial
Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)
Endereço: Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG
eronides.filho@uemg.b

Julia Lambert Andrade Duraes

Graduanda em Engenharia de Computação
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia - MG
julialambertduraes@gmail.com

RESUMO

O custo da energia no Brasil é muito elevado assim a sociedade deve ter conhecimento de todas as fontes renováveis que podem ser utilizadas aproveitando o meio natural. Diante deste contexto cresce o interesse por novos investimentos visando uma redução nos custos com energia elétrica. A energia solar fotovoltaica vem se tornando uma relevante fonte de eletricidade, podendo utilizá-la para vários fins. O presente trabalho tem a seguinte problemática: O investimento na energia fotovoltaica em uma indústria na cidade de Ituiutaba-MG é economicamente viável? O objetivo consistiu em realizar uma pesquisa para implantar um sistema de energia fotovoltaica em uma indústria na cidade de Ituiutaba-MG. O trabalho foi desenvolvido a partir de uma pesquisa bibliográfica, buscando teorias que aprofundasse no assunto. Realizou-se uma análise no campo exploratório, na qual foi desenvolvida uma análise no local, verificando as probabilidades de implantar o sistema de energia fotovoltaica e conseqüentemente a análise dos custos. Um aspecto importante que se deve considerar é o tempo de retorno do capital investido, no qual se estimou para quatro anos. Contudo analisa-se também que as placas fotovoltaicas não gera custo com manutenção, sendo necessário uma limpeza apenas a cada 4 meses, ressalta-se também que a durabilidade é estimada para 25 anos. Com isso conclui-se que o objetivo do trabalho foi alcançado e permite inferir que considerando a relação custo/benefício, o investimento é viável, a sua economia ultrapassa 20 anos, sendo muito representativa.

Palavras-Chave: Energia Fotovoltaica, Energia Solar, Energia renovável, Custos.

BSTRACT

The cost of energy in Brazil is very high so the society must be aware of all the renewable sources that can be used taking advantage of the natural environment. In this context, the interest for new investments is increasing, aiming at a reduction in costs with electric energy. Photovoltaic solar energy has become a relevant source of electricity, being able to use it for various purposes. The present work has the following problematic: Is the investment in photovoltaic energy in an industry in the city of Ituiutaba-MG economical? The objective was to carry out a research to implant a photovoltaic energy system in an industry in the city of Ituiutaba-MG. The work was developed from a bibliographical

research, seeking theories that deepen in the subject. An analysis was carried out in the exploratory field, in which an on-site analysis was carried out, verifying the probabilities of implanting the photovoltaic energy system and consequently the cost analysis. An important aspect to consider is the return on invested capital, which has been estimated for four years. However, it is also analyzed that the photovoltaic panels do not generate a maintenance cost, being necessary a cleaning only every 4 months, it is also emphasized that the durability is estimated for 25 years. With this, it is concluded that the objective of the work was reached and allows to infer that considering the cost / benefit ratio, the investment is feasible, its economy exceeds 20 years, being very representative.

keywords: Photovoltaic energy, Solar energy, Renewable energy, Costs.

1 INTRODUÇÃO

Diante dos avanços tecnológicos e da degradação do meio ambiente, têm se abordado constantemente assuntos sobre sustentabilidade, assim existe o fator da utilização do meio natural em prol de reduzir os impactos ambientais.

O custo da energia no Brasil é muito elevado, assim a sociedade deve ter conhecimento de todas as fontes renováveis que podem ser utilizadas aproveitando o meio natural, a forma como se utiliza a energia é uma questão chave na qual o uso racional da energia nas organizações humanas é imprescindível para atingir os objetivos de um novo modelo de desenvolvimento, tanto pela diminuição da intensidade energética global, como pela melhoria dos resultados econômicos correspondentes.

Diante deste contexto cresce o interesse por novos investimentos visando uma redução nos custos com energia elétrica. A energia solar fotovoltaica vem se tornando uma relevante fonte de eletricidade, podendo utilizá-la para vários fins. Entre todas as fontes renováveis de energia, a que se destaca é a fotovoltaica, já que esta se caracteriza pela conversão direta da radiação solar em energia elétrica a partir das células fotovoltaicas (BORGES E SERA, 2010).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

- **SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO**

O mercado de energia e o mercado de eletricidade, por depender fortemente de fontes primárias de origem fóssil nas unidades termelétricas, estão no centro das atividades econômicas dos Estados Nacionais e interfere diretamente no movimento das relações sociais, sendo vital ao sistema produtor de bens e serviços. Nos ciclos de desenvolvimento vivenciados na configuração da estrutura produtiva estão estreitamente imbricadas as escolhas e rotas, levadas a cabo na conformação da estrutura energética. O

setor elétrico tem como resultado produtos considerados essenciais para o movimento da economia dos Estados Nacionais. Seu funcionamento requer elevados investimentos de longo prazo de maturação e implica na produção de inúmeras externalidades. A grande seca citada pelo autor Benjamim refere-se ao período de 1951-1956 no qual se registrou uma estiagem que durou cinco anos com volume de água de cerca de 40% do volume anual médio histórico. Tal fato foi preponderante na determinação dos critérios técnicos de dimensionamento e expansão do parque gerador hidráulico, uma vez que se passou a considerar desde então a possibilidade de uma nova ocorrência do fenômeno e, portanto, se fazia necessário a garantia da energia mesmo em situação de restrição de chuvas como a vivenciada no período em destaque (D'ARAÚJO, 2001)

Durante a década de 1990 o sistema elétrico brasileiro passou por uma série de mudanças. Leis foram criadas para reorganizar, reformular e regular o setor elétrico. Em 1993, a Lei 8.631 reorganizou econômica e financeiramente as empresas, dando a partida para que a indústria da energia elétrica se reestruturasse. Em 1995, a Lei 8.987, também conhecida como Lei de Concessões dos Serviços Públicos, e a Lei 9.074 reformularam o setor elétrico; elas estabeleceram as bases para um novo modelo institucional. Ao mesmo tempo, privatizações e a atração de capitais privados reestruturaram e fizeram expandir o setor. (ONS, 2013). No ano seguinte, o Decreto 2003 passou a regular a atuação dos Produtores Independentes e Autoprodutores e a Lei 9.427, que regulamenta e fiscaliza a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil. Em 1997 e 1998, novas regulamentações foram criadas, instituindo o Mercado Atacadista de Energia (MAE) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o Poder Executivo promoveu a reestruturação da ELETROBRÁS. A Lei 9648, de 1998, previu a segmentação setorial e definiu a abertura progressiva à competição de mercados. (ONS, 2013).

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) foi criado em 1998, com o intuito de proteger o consumidor em termos de preços, promoverem o aproveitamento racional de energia, garantir a qualidade e oferta de produtos, protegerem o Meio Ambiente, incrementar o uso de fontes renováveis de energia, promoverem a livre concorrência, ampliar a competitividade, atrair capitais para a produção de energia, entre outros. E desde 1999, o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE) é a entidade que planeja a expansão do sistema elétrico. (ONS, 2013).

O território brasileiro é altamente energético, se bem estruturado, pode disponibilizar verdadeiras riquezas que poderão auxiliar as várias regiões carentes do país e tornar o Brasil rico também de energia.

3 MATRIZ ENERGÉTICA

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) faz a elaboração e a publicação anualmente do Balanço Energético Nacional (BEN), seguindo a tradição do Ministério de Minas e Energia. O Balanço Energético Nacional tem por objetivo demonstrar a contabilização relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia.

Em 2011 houve um aumento da participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira. A participação das fontes renováveis cresceu em 2,6 pontos percentuais em 2011, chegando a 88,99%, mesmo havendo redução na produção de energia a partir da biomassa da cana-de-açúcar. Em compensação, o ano de 2011 apresentou condições hidrológicas favoráveis, o que permitiu o aumento de 6,2% na produção hidroelétrica. Vale ressaltar ainda a relevante expansão da geração eólica, +24,3% (EPE, 2012).

Do mesmo modo o consumo final de energia (pelos consumidores residenciais, comerciais e industriais) cresceu 2,4%, mais do que a oferta interna, chegando a 228,9 Mtep (Milhões de Tonelada equivalente de Petróleo) (EPE, 2012).

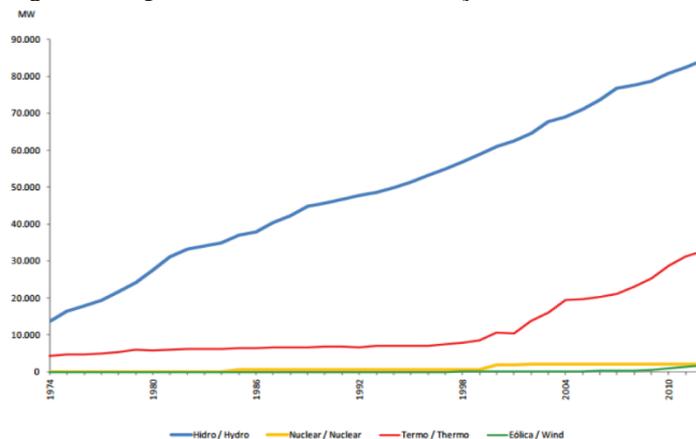
Em 2012, a oferta interna de energia (total de energia demandada no país) aumentou 11,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), alcançando uma taxa de crescimento de 4,1% e atingindo 283,6 Mtep em relação a 2011. Isto se deveu principalmente à redução na oferta interna de biomassa da cana, notadamente do etanol, e de hidroeletricidade. Também notou-se a redução da proporção de renováveis na matriz energética. Contudo, essa participação manteve-se em patamar muito elevado, de 42,4% quando comparado à média mundial, calculada em 13,2% pela Agência Internacional de Energia (EPE, 2013).

A Matriz Elétrica é o retrato da oferta interna de energia elétrica por fonte. No Brasil, o predomínio da geração hidráulica se dá há muitos anos, evidenciado na Figura 4, num gráfico comparativo entre as potências instaladas de 4 fontes de energia elétrica: hidrelétrica, nuclear, térmica e eólica. O potencial técnico de aproveitamento da energia hidráulica do Brasil está entre os cinco maiores do mundo; o país tem 12% da água doce superficial do planeta e condições adequadas para exploração. O potencial hidrelétrico é

estimado em cerca de 260 GW, contudo, apenas 63% do potencial foi inventariado. A Região Norte, em especial, tem um grande potencial ainda por explorar (ANEEL, 2008).

A figura 1 apresenta em forma de gráfico a capacidade instalada de geração elétrica no Brasil.

Figura 1: Capacidade Instalada de Geração Elétrica no Brasil.



Fonte: EPE. Balanço Energético Nacional 2013.

O Balanço Energético Nacional 2012 apontou um aumento de 1.835 MW na potência instalada do parque hidrelétrico, entretanto, a oferta de energia hidráulica reduziu-se em 1,9% devido às condições hidrológicas observadas em 2012. Em função da menor oferta hídrica, houve recuo da participação das fontes renováveis na matriz elétrica, de 88,9% em 2011 para 84,5% em 2012. A potência eólica atingiu 1.894 MW, dobrando a fatia desta fonte na matriz elétrica nacional (EPE, 2013).

Houve um aumento do consumo final de eletricidade de 3,8%, puxado pelas famílias e pelo setor de serviços, que foi atendido com aumento da geração térmica convencional, especialmente das usinas movidas a gás natural, cuja participação na matriz cresceu de 4,4% para 7,9%. Como decorrência houve aumento das perdas na transformação, pois o rendimento da planta térmica na conversão para eletricidade é bastante inferior ao da usina hidrelétrica (EPE, 2013). A Matriz Elétrica brasileira é majoritariamente composta por energias renováveis. No último BEN publicado pelo EPE notou-se um aumento da geração térmica, mas apesar disso, o setor elétrico brasileiro emitiu, em média, apenas 82 kg de CO² para produzir 1 MWh. É um índice ainda muito baixo quando se estabelecem comparações internacionais. Os setores elétricos americano e chinês emitem, respectivamente, sete e onze vezes mais, por exemplo (EPE, 2013).

4 ENERGIA RENOVÁVEL

Desde o início do século XX o planeta sofre com a exploração de seus recursos naturais, com a poluição da atmosfera e com a degradação do solo. Considerado uma fonte de energia, o petróleo por exemplo, foi tão vorazmente extraído que a tendência de esgotamento de seus poços figura como uma veemente realidade.

Um recurso ainda mais antigo, o carvão, também é considerado esgotável, assim como a energia nuclear, que traz o alerta para o perigo dos resíduos radioativos (REVISTA ECONTURISMO, 2009). No mundo, as energias renováveis já estão incorporadas aos planejamentos energéticos e são opções maduras do ponto de vista tecnológico e econômico. Após um bom tempo de progresso técnico, turbinas eólicas, usinas de biomassa, pequenas centrais hidrelétricas, painéis fotovoltaicos se consolidaram como a principal tendência do mercado energético. O mercado de energia eólica tem crescido a quase 30% ao ano nesta década e o de energia solar a quase 50% ao ano desde 2002. Um relatório divulgado em Bali em 2007, sobre Mudanças Climáticas, mostrou que os investimentos em novas fontes de energia renovável aumentaram de US\$ 44 bilhões em 2005 para US\$ 75 bilhões em 2007 (GREENPEACE BRASIL 2008). Na figura abaixo é demonstrado o consumo de energias renováveis no mundo,

Figura 2: Projeção de contribuição das energias renováveis em âmbito mundial: Consumo de energia

	2001	2010	2020	2030	2040
Biomassa	1080	1313	1791	2483	3271
Eólica	4,7	44	266	542	688
Solar Fotovoltaica	0,2	2	24	221	784

Fonte: Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento (2011)

A energia renovável pode ser definida como a energia obtida de fontes naturais capazes de se regenerar, e, portanto virtualmente inesgotáveis. Essas fontes de energia são consideradas também como “energias alternativas” em relação às fontes não renováveis, em relação a sua disponibilidade quanto aos menores impactos ao meio ambiente (REVISTA ECONTURISMO, 2009).

Energia solar

O uso da energia solar vem de longa data. O que se diz é que Arquimedes utilizou espelhos para direcionar os raios solares a atacar uma frota hostil, em 212 a.C.,

incendiando as velas dos seus confrontantes. A Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, o que representa 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Esta energia é responsável pela manutenção da vida na Terra, sendo esta radiação solar uma infinita fonte de energia, possuindo um grande potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (elétrica, térmica, etc.)(CRESESB, 2004). O bom emprego da energia gerada pelo Sol, inesgotável em relação à escala terrestre de tempo, tanto como fonte de luz quanto de calor, é atualmente uma das alternativas energéticas mais promissoras para confrontar os desafios do novo milênio (CRESESB, 2004).

Podendo-se utilizá-la de várias formas como energia solar foto térmica e energia solar FV. Na energia solar foto térmica o interesse é na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. A utilização dessa forma de energia implica saber captá-la e armazená-la (CRESESB, 2004). A energia solar FV consiste na conversão da luz em energia elétrica pelo efeito FV, por meio de célula FV. O armazenamento desta energia elétrica pode ser efetuado por um banco de baterias ou conectando-se à rede elétrica, esta energia pode ser injetada na rede elétrica.

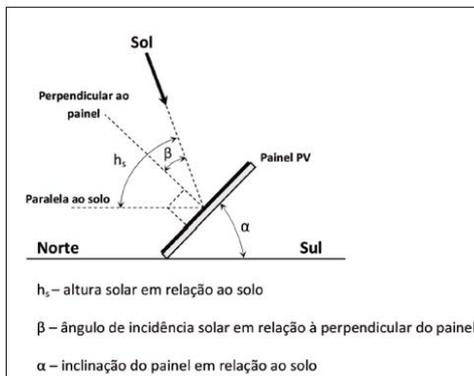
Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é uma alternativa viável e renovável para locais onde a energia elétrica é escassa e também para residências e fábricas que almejam o uso dessa fonte, uma vez que o sol atinge todo o Brasil durante o ano inteiro.

A energia fotovoltaica é a conversão direta da luz em eletricidade, em nível atômico. Alguns materiais exibem uma propriedade conhecida como o efeito fotoelétrico, que faz com que eles absorvem fótons de luz e liberem elétrons. Quando estes elétrons livres são capturados, é gerada uma corrente elétrica que pode ser utilizada como energia (GREENPRO, 2004). De acordo com o CEPTEL-CRESESB (2014), a energia solar fotovoltaica é produzida pela conversão direta da luz em eletricidade, sendo as células fotovoltaicas responsáveis pela conversão, e esse fenômeno físico é chamado de efeito fotovoltaico. A posição dos painéis em relação à trajetória dos raios solares determinará a quantidade de radiação solar que eles receberão e, conseqüentemente, a quantidade de energia elétrica gerada. A latitude, declinação solar, direção dos painéis, angulo horário e inclinação em relação ao plano horizontal são fatores que influenciam o posicionamento dos painéis (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2004). Considerados os fatores acima, de

uma maneira simplificada pode-se dizer que o melhor aproveitamento da energia solar ocorrerá quando os raios solares incidirem perpendicularmente aos painéis, conforme figura abaixo

Figura 3: Posição do painel FV em relação aos raios solares

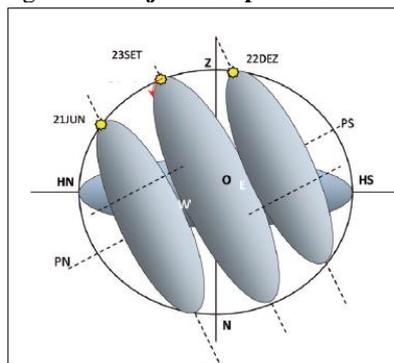


Fonte: Villava e Gazoli (2012)

Em decorrência do movimento de rotação da Terra, a luz solar ilumina metade da superfície do planeta a cada instante, originando alternância dos dias e noites. Como o eixo terrestre é inclinado, a porção iluminada de cada paralelo varia com a época do ano. Somente por ocasião dos equinócios é que a metade de cada paralelo está iluminada. Portanto, a duração dos dias e das noites varia ao longo do ano, exceto no Equador, onde duram cerca de 12 horas cada (VAREJAO-SILVA, 2005).

Para o dimensionamento de um sistema FV é fundamental definir o conceito de foto período e o de insolação. O primeiro diz respeito ao tempo decorrido, em horas, entre o nascimento e o ocaso do Sol, e o segundo é o intervalo total de tempo em que o disco solar estiveram visível para um observador situado na superfície terrestre, isto é, período em que o Sol não esteve ocultado por nuvens ou quaisquer outros fenômenos da natureza. Assim, a insolação é, no máximo, igual ao foto período. Como a trajetória aparente do Sol é diferente ao longo do ano, a inclinação horizontal do painel privilegia a produção de energia no verão, enquanto que a vertical privilegia no inverno, conforme apresentada na figura 4.

Figura 4: **Trajétória aparente do Sol**



Fonte: Villava e Gazoli (2012)

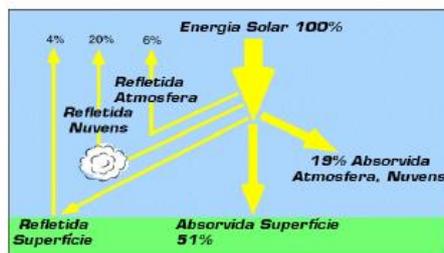
Em função da latitude e possível determinar um ângulo de inclinação dos painéis (α). Para o aproveitamento fotovoltaico, a de maior interesse é a Irradiação Global Horizontal (GHI), que quantifica a radiação recebida por uma superfície plana horizontal, composta pela Irradiação Difusa Horizontal (DIF) e pela Irradiação Normal Direta (DNI), representada na Figura 5. Em dias nublados, a principal parcela é a DIF, enquanto que em dias claros prevalece a DNI. (EPE, 2012). Na figura 6, o aproveitamento solar é demonstrado de forma esquemática.

Figura 5: **Desenho Esquemático sobre as componentes da Radiação Solar.**



Fonte: Viana, T. (2011)

Figura 6: **Aproveitamento da Energia Solar**



Fonte: Electrónica (2013)

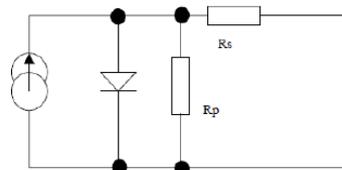
Células Fotovoltaica

As células fotovoltaicas convertem a energia solar diretamente em energia elétrica (corrente contínua), a geração direta via radiação solar é obtida através de células fotovoltaicas, constituídas por materiais semicondutores, dispostos em uma junção p-n.

Quando a radiação solar incide sobre essas células ocorre o efeito fotovoltaico, que gera uma diferença de potencial entre a junção p-n. (ELETROBRÁS, 199).

Para Dias (2006) a célula Fotovoltaica (FV) é definida como um conversor FV elementar especificamente desenvolvido para converter energia solar em energia elétrica. A Figura 8 representa o circuito equivalente para a modelagem do comportamento elétrico da célula FV. O circuito consta de uma fonte de corrente fotogerada, um diodo e as resistências série R_s e paralelo R_p .

Figura 7: Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica



Fonte: DIAS, 2006.

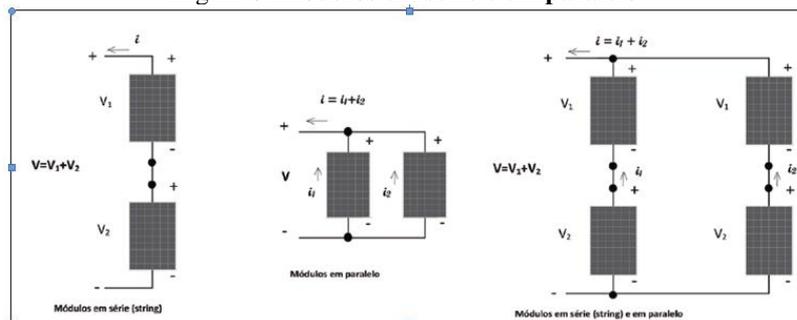
A célula FV é o componente constituído de material semicondutor, que permite a geração FV, o qual converte a radiação solar em energia elétrica, através do efeito FV.

As células fotovoltaicas são feitas de materiais semicondutores, que são escolhidos levando em conta as suas características de absorção de energia de radiação solar, custo de fabricação e os impactos ambientais causados pela sua disposição (ZILLES et al., 2012).

A corrente elétrica produzida pela célula fotovoltaica, quando exposta a luz, pode ser usada numa infinidade de aplicações, alimentando aparelhos elétricos, carregando baterias (sistemas autônomos) ou fornecendo eletricidade para ruas, bairros e cidades nos sistemas conectados a rede elétrica (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Uma única célula produz pouca energia, entretanto um conjunto de células conectadas em serie resultara em um modulo ou painel com tensões maiores. Além disso, vários módulos poderão ser conectados em serie (*strings*) e em paralelos para se obter tensões e correntes desejadas adequadas a cada tipo de aplicação (REHMAN et al., 2007), conforme figura 8.

Figura 8: Módulos em série e em paralelo



Fonte: Adaptada de Villava e Gazoli (2012)

Módulo Fotovoltaico

O módulo FV é a unidade básica de todo o sistema. Ele é constituído por uma associação de células solares conectadas em arranjo, com o objetivo de produzir tensão e corrente suficientes para a utilização da energia, sendo que o número de células solares pode variar dependendo do tipo de célula solar a ser utilizada. (CRESESB 2004)

Segundo Severo (2005), para proteção elétrica do módulo FV, quando está associado a outros módulos, podem ser utilizados diodos de bloqueio para evitar uma descarga reversa. Isso pode ocorrer quando um módulo estiver com a radiação solar obstruída, fazendo com que este módulo se transforme em uma carga e não mais uma fonte.

Os módulos FV são normalmente construídos com potências da ordem de 1 até 300 W_p, capazes de gerar corrente contínua, em baixa tensão, quando expostos à radiação solar. Eles compõem a parte produtora de energia em um gerador FV. Por questão de peso e de manipulação, os módulos não devem ser muito grandes. Logo, para constituir um gerador com maior potência, é necessário reunir sobre uma mesma estrutura em vários módulos FV, sendo estes de mesma potência e ligados entre si antes de ligá-los ao resto do gerador (DIAS, 2006).

Figura 9: Exemplo de Módulo Fotovoltaico



Fonte: SUNLAB POWER (2013)

A capacidade de geração de energia dos módulos é diretamente proporcional a luminosidade incidente e inversamente proporcional a temperatura, em temperaturas mais baixas as tensões são maiores, e em temperaturas mais altas as tensões são menores (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

As tecnologias usadas para fabricação das células FV são classificadas geralmente em três gerações, dependendo do material de base utilizado e do nível de maturidade comercial (IRENA, 2012). “Mais de 90% dos módulos são fabricados a base de células de silício (c-Si) e é esperado que se mantenha assim para os próximos anos” (EPE, 2012 p. 17). Na primeira geração são usadas células que utilizam o silício monocristalino (m-Si) e o silício policristalino (p-Si). Na segunda geração são usadas células de filmes finos que utilizam o silício amorfo (a-Si), o telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre-indio (CIS), o disseleneto de cobre-indio com pequenas quantidades de gálio (CIGS). Na terceira geração são usadas as células orgânicas, que ainda estão em testes e que ainda não foram amplamente comercializadas, mas já se vê indícios do seu início, o concentrador fotovoltaico, bem como outras tecnologias (IRENA, 2012). Em janeiro de 2014, divulgou-se que a CSEM Brasil começará a produção piloto, em que um dos produtos é a eletrônica orgânica visando a aplicação em painéis solares para a produção de energia elétrica. Segundo Tiago Maranhão Alves, CEO do CSEM Brasil, essa tecnologia é de baixo custo e que em dois anos o preço será menor que a metade dos preços dos painéis tradicionais, é leve, cada painel pesa poucas gramas, tem transparência maior, tem baixo impacto ambiental e consome 20 vezes menos energia que os painéis que utilizam o silício. As células orgânicas são impressas em um plástico especial biodegradável (CSEM, 2014). A Figura abaixo demonstra algumas impressões com o material orgânico.

Figura 10: Células orgânicas



Fonte: CSEM (2014)

Por ano a CSEM Brasil poderá produzir painéis suficientes para suprir a demanda de energia de uma cidade de 200 mil habitantes, o que equivale a uma usina de 200 MW. Um dos objetivos da produção desses painéis é alcançar a indústria automobilística também. Por esses painéis serem mais leves, será possível coloca-los no teto dos automóveis e ônibus (CSEM, 2014). Essa tecnologia não pretende substituir a tecnologia atual do silício, ela é mais uma opção em soluções novas e complementares. A Figura 11 apresenta a célula, o módulo e o painel fotovoltaico.

Figura 11: Célula, módulo e painel fotovoltaico



Fonte: URBANETZ (2010, p. 26)

Os painéis FV são construídos e projetados para ficar em ambientes externos e suportar as intempéries do tempo, como a chuva, sol e outros agentes climáticos. Nessas condições os fabricantes garantem que os módulos funcionam de modo satisfatório por 20-25 anos e operam com uma eficiência de 80% da potência nominal após esse tempo (RÜTHER, 2004 p. 11; GOETZBERGER; HOFFMAN, 2005).

Inversor ou Conversor CC/CA

Como a energia elétrica gerada nos módulos é em corrente contínua, existe a necessidade de converter essa corrente em alternada. Essa transformação é realizada através dos inversores. Os inversores CC/CA são os componentes responsáveis pela conversão da corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). O inversor deve dissipar o mínimo de potência, evitando as perdas e deve produzir uma tensão com baixo teor de harmônicos e em sincronismo com a rede elétrica, se o Sistema FV estiver interligado à rede. Muitas vezes utilizam-se filtros para minimizar o conteúdo de harmônicos. (CRESESB 2004)

Os inversores têm a função também de ajustar continuamente a potência máxima do sistema FV em função da temperatura e radiação e de desligar o sistema FV na falta de energia da rede, evitando o fenômeno de ilha, que é quando se forma um subsistema isolado. Eles ainda podem corrigir o fator de potência e agir como filtro ativo

(URBANETZ, 2010). Segundo a EPE, a vida útil média dos inversores é de 10 anos. (EPE, 2012)

5 TARIFAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

Conforme os valores fornecidos pela Resolução Homologatória Aneel 2076 de 24/05/2016 a conta de energia de uma B 3 – Demais Classes, o preço do KWh fornecido pela CEMIG sem impostos considerando um período de bandeira verde é R\$0,53.

Figura 12: Classes de valores por KWh

B3 - DEMAIS CLASSES	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Demais classes (Consumo R\$/kWh)	0,53122	0,54622	0,56122	0,57622

Fonte: CEMIG (2017)

A cada mês, as condições de operação do sistema são reavaliadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que define a melhor estratégia de geração de energia para atendimento da demanda. A partir dessa avaliação, definem-se as térmicas que deverão ser acionadas. Se o custo variável da térmica mais cara for menor que R\$ 200/MWh, então a Bandeira é verde. Se estiver entre R\$ 200/MWh e R\$ 388,48/MWh, a bandeira é amarela. E se for maior que R\$ 388,48/MWh, a bandeira será vermelha. (CEMIG 2017)

A bandeira é aplicada a todos os consumidores, multiplicando-se o consumo (em quilowatts) pelo valor (em Reais) da bandeira, se ela for amarela ou vermelha. Se, por exemplo, a bandeira está vermelha, o adicional é de R\$4,50 por 100 kWh. Se o consumo mensal foi de 60 kWh, por exemplo, então o adicional seria de $0,6 \times 4,50 = R\$2,70$. A esses valores são acrescentados os impostos vigentes. (ANEEL 2017)

Os valores dos impostos com a edição das Leis nº 10.637/2002, 10.833/2003 e 10.865/2004, o PIS e a COFINS tiveram suas alíquotas alteradas para 1,65% e 7,6% respectivamente, passando a serem apurados de forma não cumulativa. Dessa forma, a alíquota média desses tributos passou a variar com o volume de créditos apurados mensalmente pelas concessionárias e com o PIS e a COFINS pagos sobre custos e despesas no mesmo período, tais como a energia adquirida para revenda ao consumidor. (CEMIG, 2017)

6 ESTUDO DE CASO – DIMENSIONAMENTO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS PARA REDUÇÃO DO CUSTO DE ENERGIA

Este tópico apresenta o estudo no qual foi realizado em uma indústria, sendo uma panificadora na cidade de Ituiutaba-MG.

Análise do consumo de KWh/mês no local da pesquisa

Primeiramente foi analisado no período de 12 meses a média do consumo KWh/mês conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Média de KWh/mês

MESES DO ANO	KW/mês
FEVEREIRO/2017	2466
JANEIRO/2017	2666
DEZEMBRO/2016	2305
NOVEMBRO/2016	2221
OUTUBRO/2016	1598
SETEMBRO/2016	1524
AGOSTO/2016	1857
JULHO/2016	2109
JUNHO/2016	2181
MAIO/2016	1849
ABRIL/2016	2134
MARÇO/2016	1914
TOTAL	24824
MÉDIA MENSAL	2068,7

Fonte: Elaborado pelos autores

Cálculo do custo com energia elétrica

De acordo com a pesquisa realizada, segue a tabulação dos dados obtidos para a realização do dimensionamento.

Figura 13: Cálculo do custo da energia com KWh/mês por bandeira

BANDEIRAS	Valor KWh	Valor total KWh / mês	Valor sem impostos	PIS/PASEP	CONFINS	ICMS	Valor com impostos	Custeio de iluminação Pública	Valor total da conta de energia
VERDE	0,53112	2068,7	R\$ 1.098,73	R\$ 18,13	R\$ 83,50	R\$ 269,19	R\$ 1.469,55	R\$ 44,09	R\$ 1.513,64
AMARELA	0,54622	2068,7	R\$ 1.129,97	R\$ 18,64	R\$ 85,88	R\$ 276,84	R\$ 1.511,33	R\$ 45,34	R\$ 1.556,67
VERMELHA P1	0,56122	2068,7	R\$ 1.161,00	R\$ 19,16	R\$ 88,24	R\$ 284,44	R\$ 1.552,83	R\$ 46,58	R\$ 1.599,42
VERMELHA P2	0,57622	2068,7	R\$ 1.192,03	R\$ 19,67	R\$ 90,59	R\$ 292,05	R\$ 1.594,34	R\$ 47,83	R\$ 1.642,17

Fonte: Elaborado pelos autores

Verificou-se o custo de energia sobre a média de 2068,7 Kwh/mês, considerou-se estes valores para a solicitação dos orçamentos na implantação da energia fotovoltaica.

Foram solicitados três orçamentos conforme apresentado no próximo tópico.

Dimensionamento do investimento na energia fotovoltaica

Foram solicitadas as cotações de valores via internet, às empresas contataram para confirmar as informações e solicitar o envio de uma conta de energia, em prol de analisar

o tipo de padrão. No local é classificado como industrial trifásico, segue abaixo no quadro 2 os orçamentos realizados.

Quadro 2: Orçamento da implantação das placas fotovoltaicas

Empresa	EMPRESA 1	EMPRESA 2	EMPRESA 3
Geração média estimada KWh/mês	2068	2265	2068
Potencia do projeto KWp	15,68	16,6	15,58
Módulos fotovoltaicos	49 - 320 W	52 - 320W	60 - 260W
Quantidade de inversores	1	1	1
Fabricante dos inversores/modelo	Fronius / Primo 15.0 kW	Fronius / Primo 15.0 kW	15.0 kW
Monitoramento via internet	Sim	Sim	Sim
Garantia do inversor	7 anos	5 anos	Não informado
Área dos módulos	88m ²	82m ²	124,63m ²
Custo total	R\$ 74.360,00	R\$ 98.950,82	R\$ 95.982,30

Fonte: Elaborado pelos autores

Percebeu-se diante dos orçamentos apresentados que a EMPRESA 1 foi a que se destacou com o menor custo, no qual o valor aproximado da instalação foi de R\$74.360,00 com garantia do inversor de 7 (sete) anos.

No valor apresentado estão inclusos:

- Kit Gerador solar completo;
- Materiais elétricos e acessórios;
- Projeto e homologação junto á distribuidora;
- Serviço de Instalação;
- Sistema de monitoramento web e smartphone.

Análise financeira e investimento

Diante dos dados obtidos, pode-se considerar para a análise financeira e o retorno do investimento o custo da energia sobre a bandeira verde, conforme apresentado na figura 14 e 15.

Figura 14: Tarifário das bandeiras de 2016

VEJA ABAIXO A BANDEIRA TARIFÁRIA VIGENTE NO MÊS	
DEZEMBRO 2016	BANDEIRA VERDE
NOVEMBRO 2016	BANDEIRA AMARELA
OUTUBRO 2016	BANDEIRA VERDE
SETEMBRO 2016	BANDEIRA VERDE
AGOSTO 2016	BANDEIRA VERDE
JULHO 2016	BANDEIRA VERDE
JUNHO 2016	BANDEIRA VERDE
MAIO 2016	BANDEIRA VERDE
ABRIL 2016	BANDEIRA VERDE
MARÇO 2016	BANDEIRA AMARELA

Fonte: EDP (2017)

Figura 15: Tarifário das bandeiras de 2017

VEJA ABAIXO A BANDEIRA TARIFÁRIA VIGENTE NO MÊS	
JUNHO 2017	BANDEIRA VERDE
MAIO 2017	BANDEIRA VERMELHA - PATAMAR 1
ABRIL 2017	BANDEIRA VERMELHA - PATAMAR 1
MARÇO 2017	BANDEIRA AMARELA
FEVEREIRO 2017	BANDEIRA VERDE
JANEIRO 2017	BANDEIRA VERDE

Fonte: EDP (2017)

Bandeira verde			
Despesa mensal com energia	Despesa anual com energia	Valor estimado do investimento	Retorno estimado do investimento
R\$ 1.513,64	R\$ 18.163,62	R\$ 74.360,00	4,09
Bandeira amarela			
Despesa mensal com energia	Despesa anual com energia	Valor estimado do investimento	Retorno estimado do investimento
R\$ 1.556,67	R\$ 18.680,02	R\$ 74.360,00	3,98
Bandeira vermelha P1			
Despesa mensal com energia	Despesa anual com energia	Valor estimado do investimento	Retorno estimado do investimento
R\$ 1.599,42	R\$ 19.193,00	R\$ 74.360,00	3,87
Bandeira vermelha P2			
Despesa mensal com energia	Despesa anual com energia	Valor estimado do investimento	Retorno estimado do investimento
R\$ 1.642,17	R\$ 19.705,98	R\$ 74.360,00	3,77

Considerando os 12 meses que foram realizados a média do KWh/mês, 10 meses o tarifário foi da bandeira verde.

Quadro 3: Análise do retorno

Bandeira verde			
Despesa mensal com energia	Despesa anual com energia	Valor estimado do investimento	Retorno estimado do investimento
R\$ 1.513,64	R\$ 18.163,62	R\$ 74.360,00	4,09
Bandeira amarela			
Despesa mensal com energia	Despesa anual com energia	Valor estimado do investimento	Retorno estimado do investimento
R\$ 1.556,67	R\$ 18.680,02	R\$ 74.360,00	3,98
Bandeira vermelha P1			
Despesa mensal com energia	Despesa anual com energia	Valor estimado do investimento	Retorno estimado do investimento
R\$ 1.599,42	R\$ 19.193,00	R\$ 74.360,00	3,87
Bandeira vermelha P2			
Despesa mensal com energia	Despesa anual com energia	Valor estimado do investimento	Retorno estimado do investimento
R\$ 1.642,17	R\$ 19.705,98	R\$ 74.360,00	3,77

Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme apresentado no Quadro 3, levando em consideração as figuras 14 e 15, o que prevaleceu entre os meses foi a bandeira verde. Sendo assim o valor médio pago mensal de energia na panificadora é de R\$1513,64, realizando o cálculo desses custos anual, obteve-se um valor de R\$18.163,62. Verificou-se que o prazo de retorno de investimento é de 4 anos e 1 mês. Nas demais bandeiras obtiveram uma diferença mínima, sendo a amarela um retorno de aproximadamente 4 anos, a vermelha P1 3 anos e 10 meses e a vermelha P2 3 anos e 9 meses.

Uma das grandes vantagens de um sistema fotovoltaico é a baixíssima necessidade de manutenção. Grande parte dos equipamentos são projetados para durarem mais de 25 anos, sem nenhum tipo de intervenção. Eventualmente os painéis acumulam sujeiras e detritos, que podem levar à diminuição da performance, mas uma simples limpeza anual dos painéis resolve esse problema. (SOLARGRID, 2017).

Basicamente a única operação preventiva que deve ser realizada pelo proprietário de painéis solares fotovoltaicos ao longo de sua vida útil, é a limpeza periódica dos módulos solares. A periodicidade de execução desta manutenção vai depender do nível de precipitação de partículas existentes na sua região, ou mesmo da ação de animais e pássaros. Como uma regra geral recomenda-se fazer a limpeza de 4 em 4 meses utilizando-se apenas água, pano ou algum instrumento de limpeza com cerdas macias e não abrasivas. Além da redução do rendimento, o acúmulo por tempo prolongado de sujeira pode causar manchas, fungos e corrosão nos módulos, reduzindo a sua produtividade e a sua vida útil, que é estimada entre 25 a 30 anos. Assim, considerando o baixo custo da operação de limpeza preventiva e periódica, e considerando os benefícios para o seu investimento em tecnologia solar fotovoltaica, nossa recomendação é a de manter uma rotina de inspeção visual no painel, mantendo-os sempre limpos e observar os sinais de que algo está errado com o rendimento normal de sua usina solar fotovoltaica. (RENEW, 2017)

Se considerar que o investimento tem uma durabilidade de 25 anos e é pago com 4 anos, estima-se um uso de energia pelo sistema fotovoltaico de mais de 20 anos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de geração de energia solar fotovoltaica é uma forte tendência no mercado de energias alternativas e renováveis. Assim sendo, este estudo teve por objetivo realizar uma pesquisa para implantar um sistema de energia fotovoltaica em uma indústria na cidade de Ituiutaba-MG. O desafio atual é priorizar e desenvolver novas tecnologias

que viabilizam a utilização mais abrangente da energia solar com melhor desempenho e menor custo. A pesquisa demonstrou que apesar de ser um investimento inicial considerado alto para os padrões, este projeto apresenta diversas vantagens.

Um aspecto importante que se deve considerar é o tempo de retorno do capital investido, no qual se estimou para quatro anos. Contudo analisa-se também que as placas fotovoltaicas não gera custo com manutenção, sendo necessário uma limpeza apenas a cada 4 meses, ressalta-se também que a durabilidade é estimada para 25 anos.

Com isso conclui-se que o objetivo do trabalho foi alcançado e permite inferir que considerando a relação custo/benefício, o investimento é viável, a sua economia ultrapassa 20 anos, sendo muito representativa. Recomenda-se a empresa aderir o sistema de energia fotovoltaica. Sugere-se aos demais estudiosos fazer um estudo em outras empresas com menor utilização de KWh e averiguar se também é viável a implantação do sistema.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Bandeira tarifária**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias> Acesso 05 de maio de 2017.

_____. **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de Abril de 2012.

_____. **Resolução Normativa Nº 517**, de 11 de Dezembro de 2012.

_____. **Aprova Regras para Facilitar a Geração de Energia nas Unidades Consumidoras**. 17 de Abril, 2012. Disponível em: Acesso em 17 de Abril de 2017.

CEMIG. **Consulta de Bandeiras e impostos**. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/> Acesso 26 de maio de 2017.

CEPEL-CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, Edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro-Março–2014.

D'ARAÚJO, Roberto Pereira. **“Previsibilidade, Razões e Desafios da Crise de Suprimento de Energia Elétrica no Brasil”**. In: O Brasil a Luz do Apagão, Organizado por Carlos Lessa, Editora Palavra e Imagem, Rio de Janeiro, 2001.

DIAS, João Batista. **Instalação Fotovoltaica Conectada à Rede: Estudo Experimental para a Otimização do Fator de Dimensionamento**. 175f. Tese de Doutorado - Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2006.

EDP. Energia de Portugal. **Bandeiras tarifárias**. Disponível: <http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-bandeirante/informacoes/Paginas/Bandeiras-Tarifarias.aspx#0>. Acesso em 29 de maio 2017.

ELECTRÓNICA. **Energia Solar**, 2013. Disponível em: <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/18/30/>. Acesso em 20 de março de 2017.

ELETROBRAS ELETRONUCLEAR. **O acidente nuclear na Central de Fukushima Daiichi**. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Perguntasfrequentes/Temasgeraisoacidente naCentraldeFukushima.aspx>. Acesso em 29 de março de 2017.

_____. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica – Dezembro de 2013**. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA FILHO, K.S.; SARAIVA, M.F.O. Astronomia e Astrofísica. **Livraria da Física**, 2004.

ONS. **Evolução do Setor Elétrico Brasileiro**, 2013. Disponível em: http://www.ons.org.br/entenda_setor/evolucao_setor.aspx. Acesso em 20 de março de 2017.

RENEW ENERGIA. **Manutenção preventiva:** Solar fotovoltaico, poeira e pombos. Disponível: < <http://renewenergia.com.br/manutencao-preventiva-solar-fotovoltaico-poeira-e-pombos/>> Acesso 30 de maio 2017.

REVISTA ECOTURISMO. **O que e Energia Renovável.** Disponível em: <http://revistaecoturismo.com.br/turismo-sustentabilidade/o-que-e-energiarenovavel/>. Acesso em: 14 de Março 2017.

SOLARGRID. **Custo com manutenção.** Disponível: <<https://www.solargrid.com.br/duvidas-frequentes/topicos/quais-os-custos-de-manutencao/>>. Acesso em 30 de maio 2017.

SUNLAB POWER. **Energia Solar e Suas Aplicações Sem Segredos.** 2013. Disponível em: http://www.sunlab.com.br/Energia_solar_Sunlab.htm. Acesso em: 14 de Março 2017.

URBANETZ, Jair Junior. **Sistemas fotovoltaicos conectados a rede de distribuição urbanas: Sua influência da qualidade de energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade.** 2010. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VAREJAO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia.** Versão Digital. Recife, 2005.

VIANA, T. **Energia Solar Fotovoltaica - Geração de Energia Elétrica a Partir do Sol,** 2011. Disponível em: <http://www.lepten.ufsc.br/disciplinas/emc5489/arquivos/pdf/conteudo_aulas/aula_traja_no1.pdf>. Acesso em 20 de março de 2017.

VILLALVA, M.G.; GAZOLI, J.R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicacoes.** Editora Erica, 2012.