

ESTUDO DE PERDAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Pedro Henrique Tronco Silva¹
Fabiana Florian²
Fernando Augusto Baptistini Pestana³

Resumo: O crescimento da população e o uso constante dos combustíveis fósseis trazem consequências drásticas ao meio ambiente. A conscientização da população e a busca por outras fontes de energia geraram um crescimento na busca por fontes renováveis/sustentáveis de energia, tais como os sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaicos, instalados na maioria das vezes para suprir a necessidade de consumo próprio de energia elétrica. Entretanto, necessário se faz adotar boas práticas no projeto, aquisição de materiais e instalação dos componentes utilizados nesse tipo de sistema, a fim de se obter o resultado desejado e um retorno aceitável do investimento. Este trabalho propõe investigar as perdas em um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica, buscando comentar e apontar medidas que possam reduzir ou mitigar tais perdas nos sistemas *on-grid*. Foi realizada pesquisa bibliográfica e com base na fundamentação teórica conclui-se que importância a manutenção dos painéis que não pode deixar de ser realizada bem como analisar as perdas que acontecem no painel fotovoltaico, inversores e cabeamento que diminuem significativamente a eficiência de todo o sistema, evitando o uso de toda a potência para qual foi projetado.

Palavras-chave: Geração; Fotovoltaica; Energia Elétrica; Painel Fotovoltaico; Perdas; Rendimento.

LOSS RESEARCH OF PHOTOVOLTAICS SYSTEM

Abstract: The population growth and use of fossil fuel cause strong reduction on the environment. Public awareness and search a new renewable way to power generation like a photovoltaic system. However it is necessary to adopt good practices, acquisition materials and install to get the efficient system and got a great payback. This research intends to analyses the loss that can happen in generation electrical energy by photovoltaics system on-grid, the main objective is show what can cause that losses. After bibliographic research concludes that how important the maintenance of photovoltaics panels and devices which would put down the system performance.

Key-words: Generation; Photovoltaic; Electrical Power; Photovoltaics Panels; Losses; Performance.

¹ Graduando do curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA E-mail: pedro.htsilva@hotmail.com.

² Coorientadora docente do curso de Engenharia Elétrica da UNIARA. E-mail:fflorian@uniara.com.br.

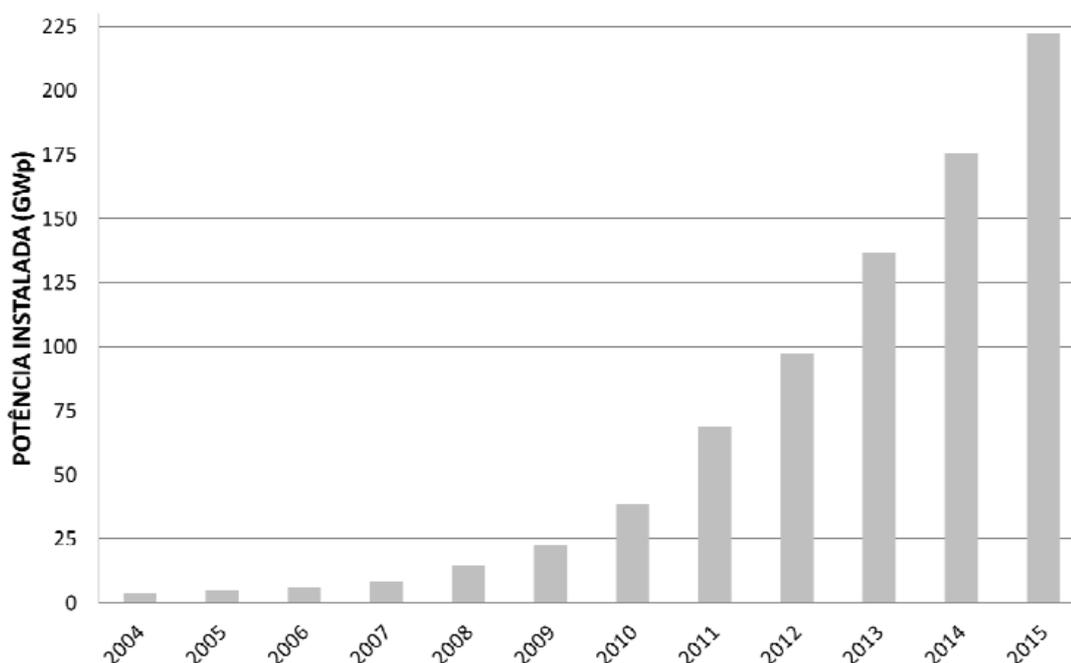
³ Orientador docente do Curso de Engenharia Elétrica da UNIARA E-mail:fernando@rhafer.com.br.

1) INTRODUÇÃO

Segundo Pinho e Galdino (2014), o aproveitamento da energia gerada pelo Sol, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano. O Sol é responsável pela origem de praticamente todas as fontes de energia na Terra.

De acordo com R  ther (2004), através do efeito fotovoltaico, células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma est  tica, silenciosa, não poluente e renovável, antes utilizada apenas por países ricos como Itália, Alemanha, China e Estados Unidos e em zonas rurais pela falta de energia em locais remotos e de difícil acesso a concessionária de energia elétrica. A conscientiza  o da popula  o em rela  o ao aquecimento global e a constante queda de preço como um incentivo para a aquisi  o dos painéis fotovoltaicos    um dos principais elementos, assim como os inversores solares (SFCR), para este tipo de gera  o de energia que tende a ser utilizada cada vez mais no Brasil. A Figura 1 apresenta o crescimento exponencial da capacidade de sistemas fotovoltaicos instalados no mundo destacando para o crescimento de aproximadamente 50GWp entre os anos de 2014 e 2015.

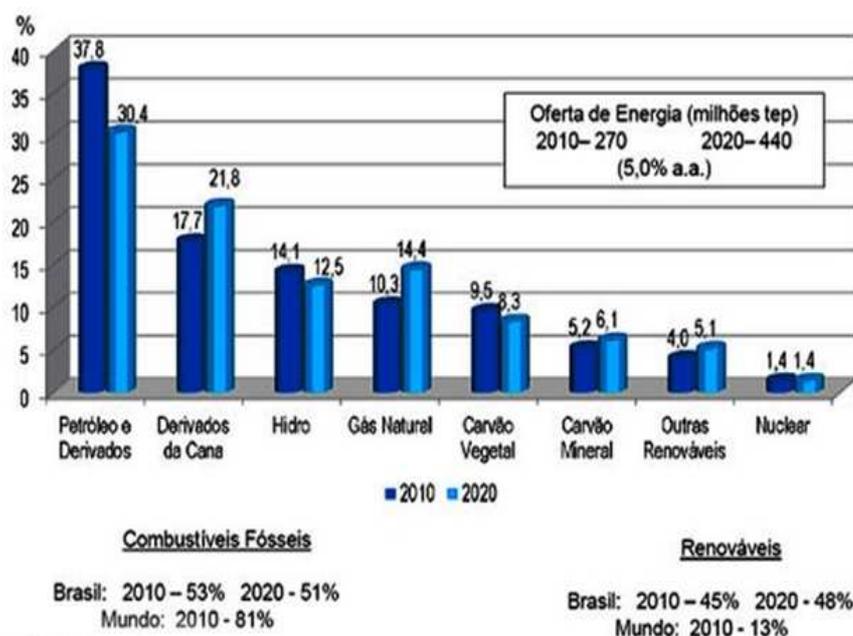
Figura 1 – Crescimento da capacidade de sistemas fotovoltaico instalados no mundo.



FONTE: IRENA (2016).

Dados do Ministério de Minas e Energia (MME), a diversificação da matriz elétrica brasileira ocorreu devido a queda na produção de energia elétrica provida de hidrelétricas por conta da estiagem e entre 2007 e 2017. Houve um crescimento na geração de energia através de fonte renováveis não hídricas, como a energia solar que aparece como um grande aliado para a compensação desta falta no sistema.

Figura 2 – Matriz energética Brasileira no ano de 2010 e previsão para o ano de 2020 (%)



Fonte: Brasil, 2015.

Com a figura 2, é possível visualizar o crescimento da geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis como, por exemplo, os derivados da cana e outros. Em contrapartida há queda expressiva do uso de petróleo e derivados, e isso ocorre pelo esgotamento de suas reservas, obrigando assim a busca por novos meios de geração.

Tendo em vista que o Brasil é um país tropical e que durante o ano todo sofre por grande ocorrência de radiação solar, mostra-se um cenário ideal para a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, tornando assim cada vez mais importante a implantação dos painéis para a matriz energética brasileira.

O objetivo deste trabalho é, através de pesquisa bibliográfica, investigar as perdas existentes em sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica, analisando os principais pontos a serem observados desde a fase de projeto e durante a manutenção em operação do sistema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os principais componentes presentes em um sistema de geração fotovoltaico são:

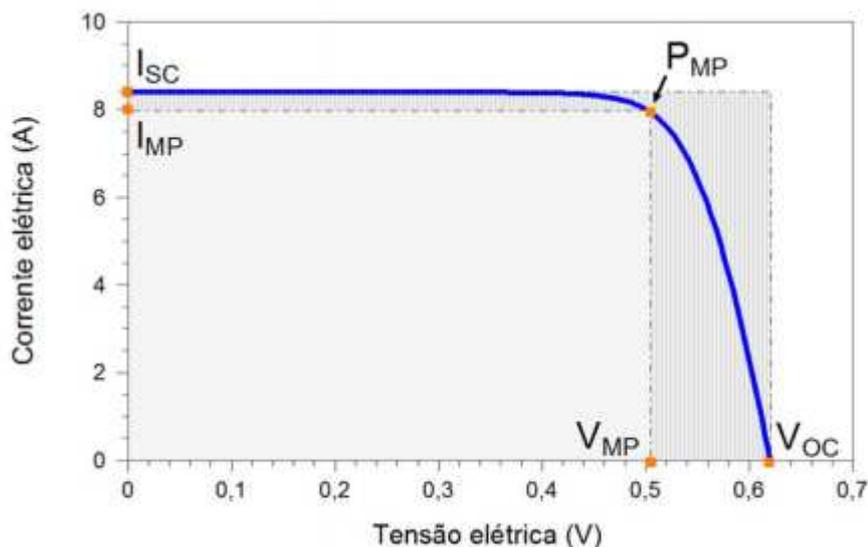
a) Células e módulos fotovoltaicos

A célula fotovoltaica, um material semicondutor e normalmente construído de lâmina de silício, ao receber luz através do sol gera tensão. Os módulos fotovoltaicos são constituídos por associação das células fotovoltaicas em grupos.

De acordo com Carneiro (2010), a potência máxima que é alcançada através da utilização de uma única célula fotovoltaica não excede, em geral, a potência de 3W, o que é manifestamente insuficiente para a maioria das aplicações reais. Por este motivo, é feito o agrupamento das células fotovoltaicas para que assim se tornem um módulo fotovoltaico. Para que isso aconteça, ou seja, tornar-se um módulo fotovoltaico, as células presentes necessitam ser ligadas em séries umas às outras. Desta forma é possível uma geração de energia maior, conforme construção de cada módulo. Existem atualmente módulos compostos por 36, 60 e 72 células.

Uma célula fotovoltaica é identificada pela sua potência de pico (P_{mp}), tensão de circuito aberto (V_{oc}), Corrente de curto-circuito (I_{sc}) e Eficiência (η). Tais parâmetros podem ser identificados na figura 3.

Figura 3 – Corrente elétrica em função de uma diferença de pontencial aplicado em uma célula fotovoltaica.



Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

Segundo Carneiro (2010) por estarem expostos ao tempo é necessário que os módulos fotovoltaicos resistam às intempéries às quais são submetidos; para tanto ele é imerso em uma película de Etileno Acetato de Vinilo (EVA), que fará a proteção do módulo, não reflete a luz solar e também oferece o isolamento elétrico entre as células. A estrutura dos módulos fotovoltaicos é composta por seis partes, conforme citado a seguir:

Moldura de Alumínio: com espessura de aproximadamente 4cm, tem o objetivo de garantir a integridade do painel nas mais adversas situações, para a proteção na hora da instalação e também garantir que o painel não “torça” e não trinque suas células.

Vidro Especial: Apresenta normalmente espessura entre 3.2 mm ou 4.0 mm, possui baixo teor de ferro, tornando-o assim com baixa reflexão e deixando o máximo de luz passar através dele, caracterizando-se por resistir a fortes chuvas e granizo;

Encapsulante – EVA: Acetato-vinilo de etileno, tradicionalmente conhecido como EVA, é um material que protege as células contra radiação UV, umidade e temperaturas extremas;

Células Fotovoltaicas: são produzidas através de cristal de silício ultrapuro, possuem menos de 2mm de espessura e constituem a parte principal do painel solar, que através de uma reação físico-química convertem a luz do sol em energia elétrica;

Backsheet: Filme branco constituídos por três camadas, vai atrás do painel solar. Sua função principal é proteger basicamente as células fotovoltaicas e também agir como um isolante elétrico.

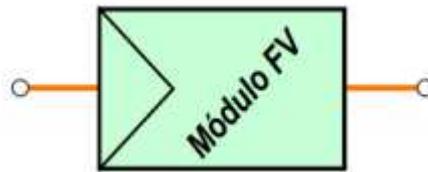
Caixa de Junção: fixada na parte de trás do painel onde as células fotovoltaicas estão conectadas em série, normalmente chamadas de *strings*; constantemente exposta a intempéries, deve apresentar grau de proteção mínimo IP65, sendo ideal IP67.

b) Associações de módulos

Para obter uma máxima potência nos painéis fotovoltaicos é necessário que os módulos fotovoltaicos sejam interligados e de mesma marca, a fim de evitar perdas na geração de energia. Existem três opções para sistemas *on-grid*, sendo elas série, paralela ou mista. Ao fazer as devidas associações, pode-se obter diferentes níveis de tensões e correntes:

A figura 4 é utilizada para a representação de um módulo fotovoltaico.

Figura 4 – Representação do módulo fotovoltaico.



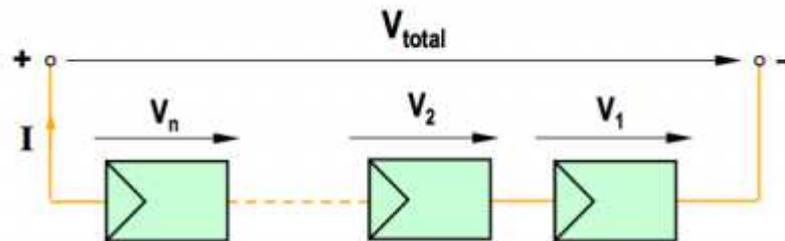
Fonte: CARNEIRO, 2010.

A ligação em série dos módulos fotovoltaicos se dá conforme demonstrado na figura 5, e quando estão submetidos a mesma irradiação solar, produzirão a soma das tensões e corrente estipulada pelo módulo, conforme apresentado as equações 1 e 2, respectivamente.

$$V_{total} = V_1 + V_2 \dots + V_n$$

$$I_{total} = I_1 = I_2 \dots = I_n \quad (2)$$

Figura 5 - Associação série de módulos fotovoltaicos.



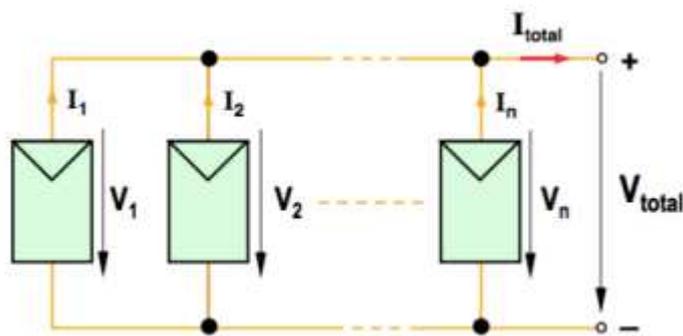
FONTE: CARNEIRO, 2010.

Já na conexão em paralelo, conforme figura 6, obtêm-se a soma das correntes e a tensão permanece a mesma, conforme apresentado as equações 4 e 5, respectivamente.

$$I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (4)$$

$$V_{total} = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (5)$$

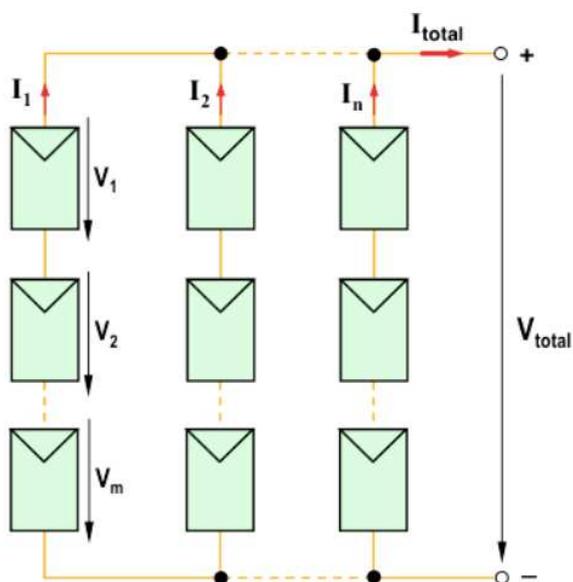
Figura 6 – Associação paralelo de módulos fotovoltaicos



FONTE: CARNEIRO, 2010.

Existe também a possibilidade de utilizar a associação mista, onde existe a ligação série e paralela juntos, conforme figura 7. Neste tipo de associação é comum várias fileiras de módulos ligadas em paralelo utilizando as características de série e paralelo já abordados neste estudo. Considerando todos os módulos com características iguais, é possível realizar o cálculo da corrente total bem como da tensão total, através da resolução de um circuito misto, conforme exemplificado abaixo:

Figura 7 – Associação mista de módulos fotovoltaicos.



FONTE: CARNEIRO, 2010.

Corrente total:

$$V_{total} = \text{Número de fileiras} \times I$$

(6)

Tensão Total:

$$V_{total} = \text{Número de associações em série} \times I \quad (7)$$

c) Módulos.

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) estabelece os requisitos e ensaios aos quais os módulos fotovoltaicos devem ser submetidos para receber a homologação e o respectivo selo de conformidade, podendo assim ser utilizados em sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica.

Os módulos fotovoltaicos comercializados no Brasil necessitam de aprovação do INMETRO e necessitam também apresentar o seu registro, que pode ser consultado no site no INMETRO (www.inmetro.gov.br), contendo assim, em cada módulo uma etiqueta fixada.

Figura 8 – Etiqueta fixada no módulo fotovoltaico.

Energia (Elétrica)		MÓDULO FOTOVOLTAICO
Fabricante		ABCDEF ← nome do fabricante
Marca		XYZ(Logo) ← marca comercial (ou logomarca)
Modelo		XPQOPT ← modelo do módulo
Mais eficiente		A ← letra A, B, C, D ou E correspondente à eficiência energética do módulo, em alinhamento com a seta correspondente
Menos eficiente		
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)		XY,Z ← eficiência máxima nas condições padrão (STC)
Área Externa do Módulo (m ²)	0,00	← área externa do módulo, em m ²
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês)	0,00	← produção média de energia (kWh/mês)
Potência nas Condições Padrão (W)	0,00	← potência nas condições padrão (W)
<small>Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica</small> <small>Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o Manual do usuário</small>		
<small>IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR</small>		

FONTE: PINHO; GALDINO, 2014.

Através de testes realizados em laboratório com condições padrões, é feita uma classificação (A a E) dos módulos fotovoltaicos que irá determinar a eficiência de cada módulo. Segundo Pinho; Galdino, (2014), é importante lembrar que a eficiência dos módulos

normalmente não é considerada um fator importante de projeto, exceto em casos onde existe uma limitação de espaço para a instalação.

Tabela 1 – Classe de eficiência dos módulos fotovoltaicos.

Classe	Faixa
A	Maior que 13,5%
B	Maior que 13 a 13,5%
C	Maior que 12 a 13%
D	Maior que 11 a 12%
E	Menor que 11%

FONTE: PRÓPRIA, ADAPTADO PINHO; GALDINO, 2014.

d) Inversores (eficiência e perdas).

A energia elétrica provida dos painéis fotovoltaicos é gerada em tensão contínua, sendo necessário a conversão tensão alternada a fim de ser utilizada nos equipamentos eletrodomésticos em geral, inclusive para seu excedente poder ser injetado na rede da concessionária; essa conversão é realizada por um dispositivo conhecido como inversor. Os inversores, projetados especialmente para esta aplicação, quando conectados a rede tem a capacidade de detectar e assim converter a energia gerada pelos painéis para uma energia compatível com a da rede da concessionária, podendo ser injetada diretamente com a mesma tensão, fase, frequência e com proteção eletrônica com capacidade de detectar uma sobrecarga fazendo o desligamento do sistema para evitar quaisquer danos aos equipamentos e usuários, inclusive provendo a função de anti-ilhamento, isto é, quando mesmo depois do desligamento da rede pela distribuidora de energia, o SFCR continua alimentando cargas, uma condição inadmissível por comprometer a segurança da manutenção na rede.

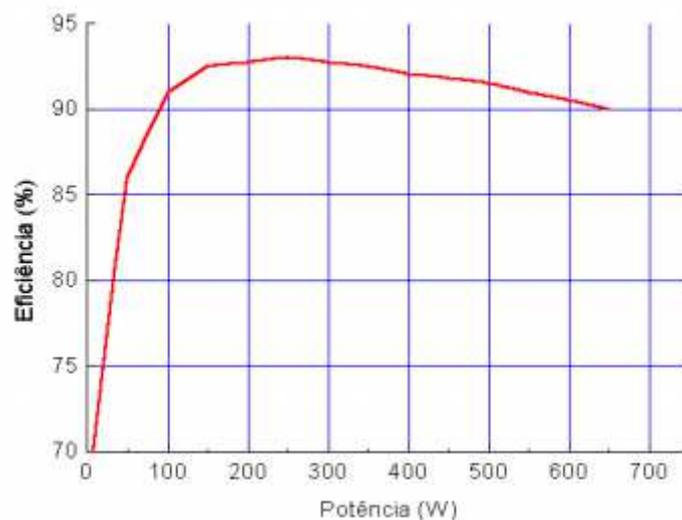
Segundo Carvalho (2013), o seguidor do ponto de máxima potência (SPPM) tem um papel extremamente importante, como maximizar a potência e a eficiência do sistema. A tensão e a corrente produzida pelo painel fotovoltaico pode variar conforme a irradiação solar, temperatura sombras e as demais constantes que causam perdas no sistema. Com isso, o inversor transforma a energia “bruta” que chega a ele, na melhor relação de tensão e corrente para obter a maior eficiência.

Segundo R  ther (2004), Existem dois tipos de inversores que são de comum utiliza  o: os que utilizam o sinal da rede elétrica para comutarem e fazer a sincroniza  o com a rede ou os auto-comutados, onde o circuito eletr  nico do inversor    responsável por fazer a comuta  o e sincroniza  o.

A eficiência do inversor    diretamente ligada ao aproveitamento da energia gerada, mesmo em *standby* o equipamento apresenta perdas que devem ser consideradas.

Como afirmado por R  ther (2004), a curva de eficiência característica de um inversor de 650W como mostra a figura 9, relata que a eficiência máxima não coincide com a potência máxima, assim, para que possa utilizar o máximo de sua eficiência pode-se projetar um conjunto de módulos com potência total inferior    potência máxima do inversor

Figura 9 – Eficiência do inversor.



FONTE: RÜTHER, 2004.

Segundo Pinho e Galdino (2014), a onda senoidal pura obtida na s  ida do inversor    feita através de semicondutores chaveados, bloqueando e conduzindo o sinal, no entanto gera-se uma forte componente harm  nica onde há a necessidade de utilizar capacitores e indutores para que possam atuar como filtro. Devido a esse processo, tem-se uma das quedas existente na eficiência dos inversores.

Outro fator que implica diretamente na eficiência são as perdas em comuta  o e condu  o, que são provenientes do chaveamento dos componentes eletr  nicos.

Com o avanço da tecnologia foram desenvolvidos os módulos com microinversores integrados, chamados de módulos CA. Segundo Rüter (2004), as principais vantagens deste novo conceito de módulos CA é o baixo custo de uma fiação em corrente alternada, desde que a instalação seja de pequeno porte como, por exemplo, já é possível iniciar um sistema interligado a rede com um módulos de 50W. Em contrapartida, a eficiência dos módulos CA é baixa (<90%) em relação a dos sistemas comuns que é ligado um módulo fotovoltaico a um inversor separadamente tendo uma eficiência de (~95%). Segundo Chepp e Krenzinger (2018), em caso de sombreamento, o micro conversor apresenta maior produção de energia.

Krauter e Bendfeld (2017) compararam treze micros inversores e classificaram de acordo com a equação 8 e as eficiências obtidas durante testes realizados em sistemas fotovoltaicos que recebiam irradiação solar do noroeste da Alemanha. Na tabela 2 conclui-se que o micro inversor da SMA teve o maior desempenho em relação aos outros que foram analisados sob as mesmas condições.

$$\eta_{EURO} = 0,03 \eta_{5\%} + 0,06 \eta_{10\%} + 0,13 \eta_{20\%} + 0,10 \eta_{30\%} + 0,48 \eta_{50\%} + 0,20 \eta_{100\%}$$

Nx% corresponde a x% da potência do inversor.

Tabela 2 – Eficiência de micro inversores.

Classificação	Fabricante	Eficiência em %
1	SMA	95,4
2	Enphase	95,2
3	Hoymiles	95
4	ABB/Power One	94,6
5	Involar MAC 500	94,3
6	APS Y 500	94,1
7	Envertech	93,2
8	Involar MAC 250	92,7
9	Changetec	90,9
10	AEconversion	90,3
11	Encesys	90,3
12	Ienergy	89,9
13	Letrika 260	88,7

FONTE: PRÓPRIA, ADAPTADO KRAUTER E BENDFELD (2017).

e) Conectores e perdas.

Os conectores utilizados em sistemas fotovoltaicos podem apresentar falhas de contato, onde tais falhas podem gerar aquecimentos ou interrupções no funcionamento dos módulos no sistema. É necessário, portanto, prever conectores resistentes às intempéries e aos esforços mecânicos aos quais estarão expostos. Para este tipo de aplicação o conector comumente utilizado é o MC-4. Para Pinho e Galdinho (2014), os conectores devem possuir grau de proteção IP67 e não devem ser posicionados em canaletas ou dutos que possam acumular água. Os cabos não devem ficar soltos e sujeitos à ação do vento, e sim presos à estrutura do painel fotovoltaico por meio de abraçadeiras apropriadas.

É necessário também um dimensionamento preciso da seção do cabeamento que será utilizado tanto no lado c.c. quanto no lado c.a., a fim de que as perdas ôhmicas sejam reduzidas. No caso do circuito de corrente contínua de baixa tensão, as perdas são reduzidas utilizando a menor distância de cabo possível e evitando emendas também. Complementarmente, deve-se ressaltar que os cabos não devem ficar expostos às intempéries e evitando temperaturas excessivas bem como os raios U.V., que aceleram o desgaste da sua isolamento.

f) Medidor Bidirecional.

Este equipamento é de caráter obrigatório em toda residência e homologado pelo INMETRO, tem como sua função aferir a quantidade de energia que está sendo consumida. No caso do medidor bidirecional, se aplica para instalações que tem a possibilidade de “fornecer” energia para rede elétrica da concessionária, quantificando tanto o consumo quanto a energia fornecida.

3 PERDAS RELACIONADAS AO POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS

Esta seção apresenta as perdas que ocorrem diretamente ligadas ao módulo fotovoltaico que estão organizados em: Orientação e inclinação dos módulos; Sombreamento e sombreamento parcial; Acúmulo de sujeira; Temperatura; *Mismatch*; Degradação e Célula rachada/quebrada

Orientação e inclinação dos módulos.

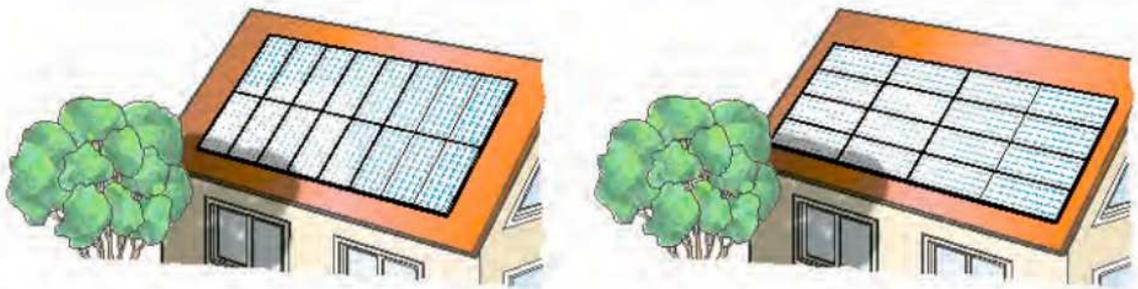
Segundo Rütther (2004), os efeitos da inclinação e orientação dos painéis no rendimento do gerador dependem da razão entre a radiação direta e difusa local. A radiação direta é a radiação que efetivamente atinge a superfície. Por sua vez, a difusa é a radiação recebida indiretamente, onde existem perdas ao passar por obstáculos na atmosfera como nuvens. Para obter a inclinação ideal para que haja a incidência solar máxima em um período de um ano, a inclinação das placas deve ser igual à latitude local (no caso da cidade de Araraquara é 21°), tendo como orientação sempre a linha do equador.

a) Sombreamento e sombreamento parcial.

O gerador fotovoltaico apresenta seu auge quando iluminado homoganeamente. Quando há o sombreamento, parcial ou total, ocorre o fator mais crítico para o gerador devido às células serem conectadas em série, portanto o que irá determinar a corrente, potência e operação de todo o sistema será aquela que recebe a menor quantidade de radiação.

Conforme Araújo, Rank, Bueno (2016) em sua obra, sombreamento parcial é um fator de perda muito significativo em um sistema fotovoltaico. O sombreamento pode ser previsível, causado por árvores, postes e construções no entorno, causada pela própria arquitetura do sistema, ou até mesmo um módulo fazendo sombra no módulo adjacente. O sombreamento pode também ser imprevisível, como por exemplo, quando algo cai em cima do módulo (folha de árvore, dejetos de pássaros). Ao planejar a instalação dos painéis fotovoltaicos, deve-se atentar à sua orientação, se estão na vertical ou horizontal, conforme a figura 9, observando assim que há mais painéis com sombreamento parcial na vertical em comparação a horizontal.

Figura 9 – Módulos parcialmente sombreados.



Fonte: DGS 2013.

Um estudo realizado pela Universidade Técnica de Berlim DGS (2013), testou a instalação de módulos em série e paralelos fornecendo a mesma potência, submetidos a sombreamento parcial e aumentando gradativamente o número de módulos sombreados de dois até oito, concluiu que a maior perda de potência ocorre quando há sombreamento em varias *strings*. Outro ponto observado foi que quando uma célula está parcialmente sombreada tem-se o efeito *hot spot*, onde ela atua como uma carga no sistema, levando assim o mesmo a um aquecimento excessivo, podendo causar a destruição do módulo. Todavia, para a correção deste fator indesejado é implantado um diodo de *by-pass* entre as células, fazendo com que tire do circuito a célula quando ocorrer o seu sombreamento parcial ou total, no entanto, isso acarreta a perda de rendimento. Em módulos solares de filmes finos a perda de rendimento é menor, pois a sua construção é feita com longas e estreitas tiras de c-Si (Silício Cristalino).

b) Acúmulo de sujeira.

De acordo com Araújo, Rank, Bueno (2016) apud DGS, 2013, em áreas industriais com grande tráfego de automóveis, ou com clima seco, por exemplo, ocorre maior acúmulo de sujeira nos painéis fotovoltaicos. O efeito do acúmulo de sujeira é menor quando o módulo é limpo com a água da chuva. Uma angulação de pelo menos 10° é normalmente suficiente para que isto ocorra. Quanto maior a inclinação do módulo, mais fácil para que a autolimpeza aconteça. Além disso, o *design* do painel pode ajudar a promover um maior acúmulo de sujeira, quando este contém bordas elevadas. Se o sistema estiver localizado em áreas com muito acúmulo de poeira, uma limpeza regular vai aumentar significativamente o desempenho do sistema.

Segundo Simioni (2017), as perdas pelo acúmulo de poeira sobre os módulos podem chegar a 15% em locais secos, onde a limpeza torna-se uma atividade indispensável. Neste caso, a disponibilidade de água e recursos pode levar a custos adicionais para operação e manutenção destes sistemas. Em termos médios, o acúmulo de poeira provoca perdas médias de 4% ao ano. Já em condições ambientais favoráveis à agravação do problema o acúmulo pode gerar perdas de até 35% num período de seis meses.

c) Temperatura.

Segundo Almeida (2012), a potência do gerador FV cai entre 0,3 e 0,4% a cada aumento de 1°C. Conforme se verifica na tabela 3 quando instalados no campo, os painéis fotovoltaicos eventualmente não operam em locais onde a temperatura é a mesma para qual tiveram os ensaios em laboratório (condições ideais para funcionamento), tendo o aumento da temperatura e como consequência a queda na sua potência.

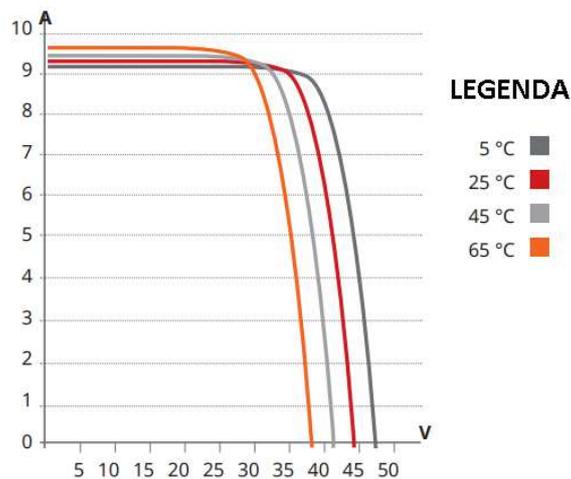
Tabela 3 – Características de temperaturas retirados de um *datasheet*.

Especificação	Dados
Coeficiente de temperatura ($P_{m\acute{a}x}$)	-0,41%/°C
Coeficiente de temperatura (V_{oc})	-0,31%/°C
Coeficiente de temperatura (I_{sc})	-0,053%/°C
Temperatura operacional nominal da célula	45±2 °C

Fonte: Própria, adaptado Canadian Solar.

Devido ao problema da elevação indesejada da temperatura, a instalação dos módulos é um critério de extrema importância para evitar o aquecimento, já que por sua vez, os módulos podem ser instalados em vários locais e de várias formas. O mais recomendado é aquele onde a instalação proporcione uma boa ventilação para que possam dissipar calor facilmente e evitar as perdas por excesso de temperatura, conforme observado na figura 10 de acordo com o aumento da temperatura a elevação que ocorre na corrente não compensa a perda pela tensão.

Figura 10 – Curva I-V com queda na eficiência por temperatura.



Fonte: Canandian Solar.

d) *Mismatch*.

Segundo Araújo, Rank, Bueno (2016) o *mismatch* ou descasamento de módulos, como também pode ser chamado, se dá pela utilização de módulos com características incompatíveis, isto é, cada painel fotovoltaico possui suas particularidades devido às células fotovoltaicas neles contidos, uma célula de menor fotocorrente presente no painel pode comprometer a eficiência de todo o sistema.

O seguimento do ponto de máxima potencia (SPPM), ocorre quando as células são afetadas homoganeamente pela irradiação solar, então, escolher atentamente quais módulos usar faz com que este efeito não ocorra por conterem características diferentes.

g) Degradação

Devido à ação do tempo, ocorre nos módulos fotovoltaicos a degradação devido a diversos motivos como o *browning*, *yellowing*, delaminação, infiltração e degradação do revestimento antirreflexivos.

Como destacado por Meyer e Dyk (2004), o efeito *browning* pode reduzir a eficiência do modulo em até 50%, e ocorre devido ao escurecimento do EVA devido à radiação UV na resina de preenchimento dos módulos fotovoltaicos, reduzindo a transmissividade óptica do material, evitando com que a luz atinja as células diretamente.

O efeito *yellowing* é o efeito que ocorre antes do efeito *browning*, também devido à irradiação UV. Pode ocorrer em módulos que ficam guardados muito tempo sem receber a radiação, diferente do outra forma, esta é reversível, basta deixar o modulo fotovoltaicos alguns dias sobre a exposição solar. A delaminação ocorre quando o EVA se descola da superfície das células fotovoltaicas criando uma interface óptica adicional fazendo com que aumente a refletividade fazendo com que a radiação solar que atinja a células seja menor e mudando as características ópticas dos encapsulamentos. No caso da infiltração, a mesma ocorre devido a defeitos de fabricação, onde o módulo fotovoltaico não é devidamente vedado permitindo assim que ocorra a penetração de água, seja pelas bordas ou até mesmo pela caixa de vedação fazendo com que ocorra a corrosão das conexões elétricas fazendo com que o módulo fique inutilizável.

Galdino e Silva (2014), afirmaram que sem a camada antirreflexiva, mais de 30% da luz que atinge a célula pode ser refletida, resultando, portanto, em redução de sua eficiência.

h) Célula rachada/quebrada

A célula rachada/quebrada é caracterizado por defeito de fabricação. Em módulos fotovoltaicos instalados no campo, as quebras podem ser por estresse térmico (dilatação/contração), por mau manuseio no operador ou até mesmo por chuvas de granizo. Quando ocorre a avaria em algum dos módulos, ocorre o *mismatch*, devido à alteração das características dos módulos danificados.

4 MANUTENÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A fim de impedir problemas e manter a eficiência do sistema, é necessária a manutenção regular do sistema, sendo uma boa prática a elaboração de um plano de manutenção que atenda além das especificações dos fabricantes, as especificações do projeto.

Em sistemas de pequeno porte, um dos itens que pode ser efetuado pelo próprio usuário é a inspeção visual, atentando-se às condições físicas das estruturas e dos módulos. Na parte de estrutura deve-se observar se a estrutura está fixa, sofrendo corrosão e até mesmo aterrada. Nos módulos a parte frontal deve estar limpa e íntegra, não apresentando rachadura ou descoloração nas células. O crescimento de vegetação também é um item a ser observado,

pois através disso pode causar o sombreamento nas placas, onde pode ser muito prejudicial ao sistema como já relatado. Para evitar o acúmulo de sujeira, deve-se efetuar a limpeza dos módulos preferencialmente no começo da manhã ou final da tarde para que evite um choque térmico devido à água fria e os módulos quentes. Usando apenas uma flanela e água, tomando muito cuidado para que partículas abrasivas presas na flanela, sabão, joias e relógios não risquem o vidro. Deve-se evitar apoiar nos módulos a fim de não danificá-los.

Segundo Pinho e Galdinho (2014), perdas de até 10% no desempenho já foram verificadas em módulos instalados em regiões de muita poeira; recomenda-se nesses casos a limpeza com frequência. Para os inversores, a manutenção que pode ser feita pelo usuário é observar atentamente qualquer barulho diferente do comum emitido pelo equipamento. Caso isso aconteça deverá entrar em contato com um profissional capacitado imediatamente. Os demais serviços devem sempre ser realizados por profissionais tecnicamente capacitados.

5 CONCLUSÃO

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário, primeiramente, a coleta de informações que levou a conclusão de que o uso de painéis fotovoltaicos para a geração de energia elétrica tende a crescer cada vez mais no Brasil, como já vem ganhando mercado significativamente nos últimos anos.

Este estudo relatou também alguns aspectos sobre as perdas relacionadas à geração de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos, as perdas mais impactantes nos painéis, inversores, cabeamento e interferência externa, como vegetação por exemplo, seus principais parâmetros de desempenho.

Analisou também a estrutura física do painel fotovoltaico e relatou a importância da manutenção que não pode deixar de ser realizada, evitando que o sistema tenha uma queda significativa no rendimento devido a um problema de simples resolução como o acúmulo de sujeira, já mencionado no estudo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Marcelo Pinho. **QUALIFICAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE** . 2012. 173 p. Tese (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA)- Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/lfsf/sites/default/files/Mestrado_Marcelo_Pinho_Almeida.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2018.
- ARAÚJO, ANA NUNES; RANK, NARAH IUATA; BUENO, TALITA BEZERRA. **ANÁLISE DOS FATORES DE PERDAS NOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA EM CURITIBA** . 2016. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015_2_27/2015_2_27_final.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2018.
- CARNEIRO, Joaquim. **MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CARACTERÍSTICAS E ASSOCIAÇÕES** . 2010. 18 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade do Minho, Portugal, 2010. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2018.
- CHOPP, Ellen; KRENZINGER, Arno. **Estudo comparativo do uso de inversor string e micro inversores na geração de energia elétrica de uma instalação fotovoltaica com sombreamento parcial**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018, Gramado: 2018
- DASOL, **Cresce a produção de coletores solares e reservatórios térmicos**. SolBrasil, v. 16, maio de 2013, pp. 6-7.
- DGS - German Solar Energy Society. **Planning and Installing Photovoltaic Systems**. 2013.
- FUSANO, Renato Hideo. **Análise dos índices de mérito do sistema fotovoltaico conectado à rede do escritório verde da UTFPR**. 2013. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- IRENA - International Renewable Energy Agency. “Renewable Capacity Statistics 2016” disponível em: <http://www.irena.org> Acesso em: 31 Novembro de 2018.
- KRAUTER, Stefan; BENDFELD, Jörg. **Update on rankings of conversion efficiencies and energy yield of microinverters, including inverters for two PV modules**. European photovoltaic solar energy conference and exhibition, 33., 2017, Amsterdam Amsterdam: 2017
- MEYER, Edson; DYK, E. **Assessing the Reliability and Degradation of Photovoltaic Module Performance Parameters**. IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY, VOL. 53, NO. 1, MARCH 2004
- MME. **Brasil Lança Programa de Geração Distribuída Com Destaque Para Energia Solar**. Disponível em: Acesso em Maio/2018
- PINHO, João; GALDINO, Marco. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.
- PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Pannel Solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-pannel-solar.html> Acesso em: 02 ago. 2018.
- RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SIMIONI, Tássio. **O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do Brasil** . 2017. 222 p. Tese (Mestre em Planejamento Energético)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://ppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/dissertacoes/2017/268-o-impacto-da-temperatura-para-o-aproveitamento-do-potencial-solar-fotovoltaico-do-brasil>>. Acesso em: 03 ago. 2018.