

**Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Engenharia de Energia**

**Análise Técnica e Econômica Comparativa do  
Uso de Inversores Convencionais e Micro Inversores  
Para Projetos De Energia Solar.**

Autor: Gabriella Karine de Sousa Neves  
Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Loana Nunes Velasco



**Brasília, DF  
2023**

Gabriella Karine de Sousa Neves

**Análise Técnica e Econômica Comparativa do Uso de Inversores Convencionais e Micro Inversores Para Projetos De Energia Solar.**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Loana Nunes Velasco

---

**Profa. Dr.<sup>a</sup>: Loana Nunes Velasco, UnB/ FGA**  
Orientadora

---

**Prof. Dr. Alex Reis, UnB/FGA**  
Membro Convidado

---

**Prof. Dr. Rudi Henri Van Els, UnB/FGA:**  
Membro Convidado

**Brasília, DF**  
**2023**

# Agradecimentos

Agradecer primeiramente a Deus por ter me abençoado e iluminado durante todo o meu caminho até aqui, me dando forças para continuar mesmo com todas as dificuldades.

Gratidão imensa aos meus pais que nunca mediram esforços para me proporcionar a melhor educação possível, incentivando e apoiando durante todos os anos da minha vida acadêmica, e no momento que perdi meu pai, Evandro, em 2017, minha mãe se manteve firme de todas as formas para que eu continuasse a estudar e enfim realizar o sonho que não era só dela, mas também do meu pai em me ver formada em um curso superior.

Ao meu namorado, companheiro, amor da minha vida e pai da minha filha, Maria Sophia, que agora já está em meus braços e esteve comigo na barriga durante a escrita do tcc 1 e 2, por me apoiar e incentivar todos os dias. Ele sabe que foi com certeza a minha maior inspiração e exemplo, de dedicação e comprometimento com tudo que lhe é proposto, e pela paciência durante esses anos em momentos de alta dedicação e atenção aos estudos.

Às minhas amigas que sempre me apoiaram desde a escolha de curso, com todo o carinho e preocupação de cada uma comigo, e a todos os professores e professoras que compartilharam o seu conhecimento, dando aulas de maneira leve e demonstrando sua paixão pela educação, em especial minha orientadora Loana pela paciência e compreensão quando mais precisei.

E por fim, agradecer a minha família, tios, tias e madrinhas que ficaram felizes desde o primeiro momento que conquistei a minha entrada na Universidade de Brasília e sempre demonstraram orgulho de mim, me incentivando sempre a manter esse orgulho e brilho nos olhos de cada um.

## Resumo

O consumo de energia solar no Brasil está aumentando e uma das motivações é a tentativa de diminuição de custos na conta de energia, e a expectativa é que o setor cresça ainda mais. Com o grande crescimento em números de instalações de sistemas fotovoltaicos residenciais e comerciais por todo o país, observou-se a necessidade de projetos cada vez mais eficientes, objetivos e tecnológicos à fim de atender a demanda específica do projeto a ser instalado e assim obter a melhor geração de energia possível. Com esse contexto, o presente trabalho tem como objetivo informar e auxiliar sobre as diferenças, vantagens e desvantagens entre os inversores e os micros inversores disponíveis no mercado, equipamento essencial para o funcionamento do sistema, e assim conseguir realizar uma boa escolha desse equipamento para executar o projeto de maneira mais econômica, inteligente e segura.

**Palavras-chaves:** Energia Solar. Inversor Convencional. Micro Inversor. Sistema Fotovoltaico. Sombreamento.

## **Abstract**

The consumption of solar energy in Brazil is increasing and one of the motivations is the attempt to reduce costs on the electricity bill, and the expectation is that the sector will grow even more. With the great growth in the number of installations of residential and commercial photovoltaic systems throughout the country, there was a need for increasingly efficient, objective and technological projects in order to meet the specific demand of the project to be installed and so obtain the best possible power generation. In this context, the present work aims to inform and help about the differences, advantages and disadvantages between inverters and micro inverters available on the market, essential equipment for the operation of the system, and thus to be able to make a good choice of this equipment to perform the project in a more economical, intelligent and safer way.

**Keywords:** Conventional Inverter. Micro Inverter. Photovoltaic System. Shading. Solar Energy.

# Lista de Ilustrações

Figura 1 - Infográfico da evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil .....	8
Figura 2 - Matriz Elétrica Brasileira em 2022 .....	9
Figura 3 - Micro inversor Sunmaster.....	13
Figura 4 - Inversor Central .....	16
Figura 5 - Inversor <i>String</i> .....	16
Figura 6 - Inversor <i>Multi String</i> .....	17
Figura 7 - Micro Inversor .....	18
Figura 8 - Arquitetura de um sistema fotovoltaico com inversor central ou <i>string</i> .....	20
Figura 9 - Arquitetura de um sistema fotovoltaico com micros inversores.....	20
Figura 10 - Efeito do sombreamento na curva I-V do módulo.....	22
Figura 11 - Curva P-V de uma <i>string</i> de módulo .....	22
Figura 12 - Vantagem Micro Inversor vs. Inversor <i>String</i> .....	25
Figura 13 - Configuração com Inversor <i>String</i> .....	26
Figura 14 – Configuração com Micro Inversor .....	26
Figura 15 - Impacto do Sombreamento Parcial na Produção de Energia dos Sistemas .....	27
Figura 16 - Impacto do Sombreamento Total na Produção de Energia dos Sistemas.....	27

## Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
FV	Fotovoltaico
kW	kilowatts
MLPE	Module-Level Power Electronics
MPPT	Maximum Power Point Tracking
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PCS	Power Conditioning System
W	Watt

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	8
1.1 Objetivo Geral	10
1.1.2 Objetivos Específicos	10
<b>2. CONTEXTUALIZAÇÃO</b>	12
2.1 História (verificar a formatação justificada)	12
2.2 Sistemas fotovoltaicos	13
2.2.1 Sistemas On-grid	13
2.2.2 Sistemas Off-grid	14
2.2.3 Sistemas Híbridos	14
2.3 Inversores Solares	15
2.3.1 Inversor Central	15
2.3.2 Inversores <i>strings</i> ( <i>grid-tie</i> )	16
2.3.3 Inversores <i>Multi String</i>	17
2.3.4 Micro Inversor	17
<b>3. ANÁLISE INVERSOR E MICRO INVERSOR</b>	19
3.1 Principais diferenças	19
3.1.1 Arquitetura	19
3.1.2 MPPT	21
3.2 Mismatch e Sombreamento	21
3.3 Performance Ratio	23
<b>4. APLICAÇÕES</b>	24
4.1 Estudo de Comparação Técnica	24
4.1.1 Real Impacto das Diferentes Configurações	26
4.2 Estudo de Comparação Econômica	28
4.3 Vida útil	31
<b>5. SEGURANÇA</b>	33
5.1 Riscos e Soluções de Segurança	34
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	35
<b>7. TRABALHO FUTURO</b>	36
<b>8. CONCLUSÃO</b>	37
<b>9. REFERÊNCIAS</b>	38



# 1. INTRODUÇÃO

A geração de energia fotovoltaica vem crescendo substancialmente em âmbito mundial, Figura 1, e vem se destacando na matriz de energia elétrica brasileira devido uma grande capacidade instalada no país. Além de ser uma fonte de energia renovável, com mínimos impactos para o meio ambiente, gera um interesse governamental em gradativamente diminuir a dependência da geração de energia que provém das usinas hidrelétricas, que hoje é a principal fonte energética elétrica do Brasil. (MORAES, 2020)

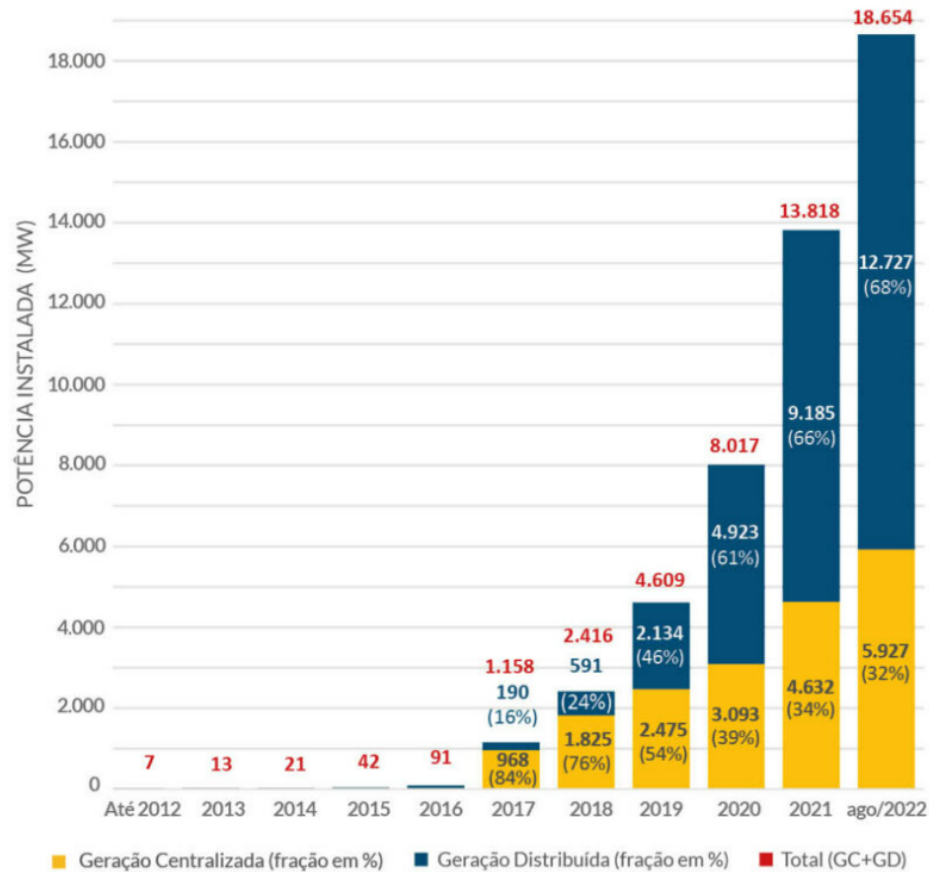


Figura 1 - Infográfico da evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

Fonte: (ABSOLAR, 2022)

O fornecimento de energia hidráulica, que é obtida através da energia potencial gravitacional da água pode sofrer algumas oscilações devido períodos de estiagem, ou seja, a falta de chuvas, e com isso, o acionamento de mais usinas termelétricas torna-se necessário para suprir a demanda e evitar a falta de energia em partes do país. Assim, o preço da conta de energia aumenta em virtude de o custo dessa geração ser maior. A busca em evitar contas de

energia tão altas, aumentou a procura em investimentos de instalações de projetos fotovoltaicos em residências e comércios a fim de se obter uma economia maior nesse custo indispensável.

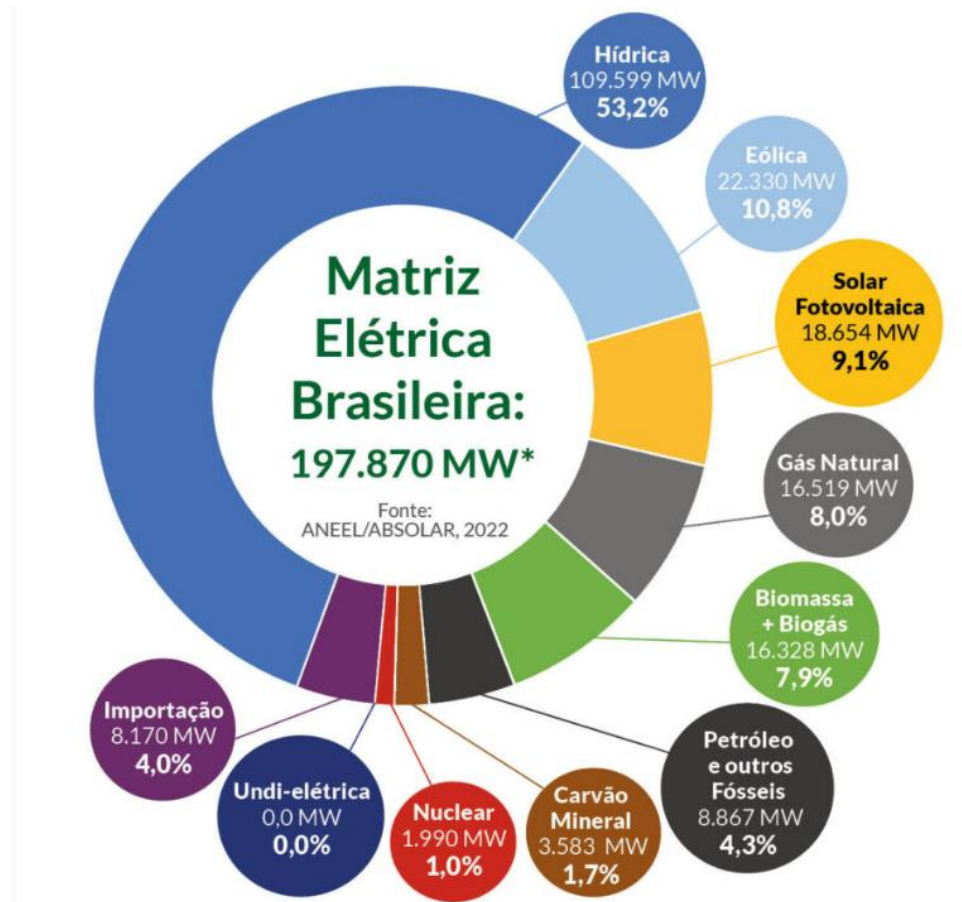


Figura 2 - Matriz Elétrica Brasileira em 2022

Fonte: (ABSOLAR, 2022)

Os projetos fotovoltaicos podem ser planejados e projetados em diferentes maneiras e possibilidades de acordo com o que se tem disponível da fonte de energia principal, a irradiância do sol. O objetivo principal de todo e qualquer projeto fotovoltaico é obter a maior geração de energia possível para o local, otimizando sua potência gerada através da escolha da montagem do sistema, dos módulos a serem usados e dos inversores disponíveis para um projeto, pois são os componentes principais de um sistema fotovoltaico conectado à rede e que podem interferir diretamente na geração de energia. A seleção do inversor, no entanto é o componente mais vital em um projeto fotovoltaico, a escolha deve ser feita cautelosamente e deve ser de acordo com o custo inicial do investimento e da manutenção dele, que está ligado diretamente com a sua capacidade de geração e confiabilidade do sistema.

Os principais inversores utilizados para aplicações conectadas à rede são os inversores *string* e *multi string*, inversores centrais e os micros inversores. A função de um inversor, seja

ele de qualquer modelo ou tecnologia, é transformar a corrente de tensão de entrada em corrente contínua CC para uma tensão de corrente alternada CA de acordo com a magnitude e frequência desejada, controlando assim a potência utilizada pela carga através da variação da frequência entregue pela rede. O inversor de energia solar também atua na segurança do sistema, ele tem o papel fundamental de em caso de falta de energia desconectar o sistema, garantindo assim a segurança aos usuários e profissionais que possam estar trabalhando nas redes de distribuição.

Diante disso, a escolha do tipo de inversor adequado para o projeto a ser executado deve-se avaliar uma série de disposições do sistema, e uma delas é a produção de energia individual ou conjunta dos módulos fotovoltaicos, a fim de ter sempre a máxima produção de energia.

Inversores *string* (verificar o q esta em inglês e colocar em itálico) são mais utilizados atualmente por serem mais conhecidos pela eficiência na sua proposta, micro inversores por outro lado vem ganhando mais espaço no mercado pela inovação e pela otimização da geração e potência gerada em projetos com algumas limitações como por exemplo quando há presença de um sombreamento na área utilizada, em projeto com *strings* diferentes, necessidade de obter um acompanhamento de geração de energia em nível de módulos além de manutenções e detecções de falhas mais rapidamente.

## 1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo comparar e analisar inversores e micro inversores utilizados em instalações de projetos fotovoltaicos, avaliar o impacto de diferentes configurações do inversor no desempenho geral, vida útil dos equipamentos e o retorno econômico com o sistema.

O objetivo principal tem como especificar, exemplificar e diferenciar os tipos de inversores e micro inversores disponíveis no mercado, ajudar na escolha entre eles para projetos fotovoltaicos a serem instalados evitando uma perda de geração de energia, que pode ser causado por uma escolha equivocada desse equipamento responsável por essa transformação de CC em CA e indicar qual tipo de sistema seria favorável financeiramente e potencialmente de acordo com um projeto apresentado.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Compreender o papel desses equipamentos juntamente com os custos desde a sua instalação e manutenção;
- Comparação de diferentes tipos de sistemas integrados no mercado determinados a partir da escolha do inversor a ser usado;
- Elaborar uma metodologia para realizar a escolha do inversor para um projeto de maneira mais inteligente e econômica;
- Indicar o tipo de sistema mais benéfico de acordo com as características do projeto;
- Compreender os riscos e as soluções de segurança nos sistemas fotovoltaicos de acordo com o inversor escolhido.

## 2. CONTEXTUALIZAÇÃO

### 2.1 História (verificar a formatação justificada)

A energia solar fotovoltaica pode ser convertida hoje em energia elétrica facilmente com a disposição dos equipamentos existentes com essa função, e tudo começou com o conhecimento do efeito fotovoltaico, que foi observado pela primeira vez no ano de 1839, pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel. A produção de pequenas quantidades de corrente elétrica a partir da exposição de alguns tipos de materiais à luz, deu início a ideia de produzir a primeira célula solar em 1883, com uma eficiência ainda baixa. Os estudos foram avançando e na metade do século XX, com a contribuição dos físicos Lange, Grondahl e Schottkl, já foi possível obter uma clara compreensão desse efeito. (FADIGAS, 2012)

O sistema fotovoltaico é composto pelo arranjo fotovoltaico e por uma unidade de controle e condicionamento dessa potência que será gerada e entregue para o usuário. O arranjo fotovoltaico consiste em uma associação dos módulos que possui um conjunto de células fotovoltaicas que produz então em seus terminais uma tensão de corrente contínua, e as células fotovoltaicas que estão ligadas umas às outras formam os módulos e, posteriormente, os painéis. Em instalações elétricas, com foco no escopo desse trabalho com instalações residencial e comercial, é usada uma corrente alternada, seja para alimentar um banco de baterias ou para o funcionamento dos eletrodomésticos, sendo assim há a necessidade de um equipamento que converta a CC em CA, então entra o inversor solar, que será o equipamento que transformará essa tensão contínua gerada pelos painéis solares em tensão alternada.

O responsável pela coleta dessa energia gerada pelo arranjo dos módulos na forma CC e levar na forma CC ou CA para a carga é o sistema de condicionamento de potência, conhecido como PCS (Power Conditioning System). Composto por vários dispositivos normalmente acoplados fisicamente, tem com funções controlar o acionamento-desligamento do sistema quando necessário, o ponto de operação do arranjo fotovoltaico, controle de carga da bateria, a proteção do sistema, e a conversão da corrente contínua em corrente alternada.

O inversor solar grid-tie (ou inversor on grid) é o modelo mais utilizado no mundo, atualmente é o mais usado para conectar um sistema fotovoltaico on grid à rede residencial ou

comercial, o qual é projetado para se desligar rapidamente da rede elétrica caso ela venha a cair.

Os micros inversores foram ocupando espaço na indústria fotovoltaica desde o seu início, não é uma tecnologia muito recente. Foram crescendo e se aperfeiçoando com o decorrer do tempo, porém em 1993, dois anos depois do desenvolvimento de um inversor de módulo CA, já foi apresentado ao mercado o primeiro micro inversor para ligação à rede elétrica, o Sunmaster 130S, Figura 3. (Martins, 2012)

Apenas em 2008 veio a primeira versão de sucesso de um micro inversor, introduzido no mercado pela empresa Enphase, uma empresa norte americana. O projeto desenvolvido e que se tornou mais popular foi chamado de M 175 e em seguida o M 190.



Figura 3 - Micro inversor Sunmaster

Fonte: (SlideToDoc, s.d.)

## 2.2 Sistemas fotovoltaicos

### 2.2.1 Sistemas On-grid

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados como: sistemas ligados à rede elétrica, sistemas isolados, e sistemas híbridos. Os sistemas de energia solar on-grid ou conectados à rede, é projetado para permanecer conectado à rede de distribuição, para que em momentos que não esteja produzindo energia ser possível utilizar diretamente da distribuidora da região, e em casos que a produção esteja excedendo o consumo pelo usuário, ser possível receber créditos de energia para ser utilizados quando necessário.

O sistema on-grid é composto por equipamentos com essa função de converter a energia solar em energia elétrica, além de inseri-la diretamente na rede ou transferindo esse excesso de energia gerada para a distribuidora. Dessa forma, o diferencial desse tipo de sistema é dispensar o investimento em baterias, diminuindo o custo do sistema.

### 2.2.2 Sistemas Off-grid

Sistemas isolados, também conhecidos como sistemas off-grid, não se encontram ligados à rede elétrica, ou seja, opera de uma forma autônoma, tem como principal característica um sistema que armazena a energia solar excedente em um banco de baterias por exemplo para ser utilizada quando não houver produção de energia.

É um tipo de sistema ideal para áreas rurais ou distante de regiões que possuem uma rede elétrica estabelecida, e assim essa energia armazenada garante o fornecimento em períodos com pouca radiação, produzindo assim menos energia, ou durante a noite. A quantidade de baterias necessárias para esse fornecimento está atrelada à quantidade de carga desejada e ao tempo de autonomia estudado para aquele sistema

Para realizar a escolha de qual sistema utilizar, é preciso primeiro entender que existem diferentes vantagens e desvantagens para sistemas de pequeno e grande porte. Os de pequeno porte, ou seja, com geração de energia em menor escala há uma diminuição do consumo de combustíveis fósseis, aumento da disponibilidade de energia e uma grande redução de custos, que é o principal objetivo da maioria dos usuários.

Existem também algumas desvantagens que devem ser consideradas no momento da escolha do projeto a ser instalado. Causa um impacto maior ao meio ambiente pelo fato de ser dependente do uso de baterias, apresenta também menor eficiência energética, e o custo mais elevado comparado com o sistema on-grid

### 2.2.3 Sistemas Híbridos

São chamados de sistemas híbridos por se tratar de um sistema que une características dos sistemas on-grid e off-grid, ou seja, podem operar sem a ligação à rede elétrica e podem funcionar em conjunto com esta. Busca a melhor parte de cada um deles, a conexão direta com a rede de distribuição da área e o armazenamento da energia gerada, assim o usuário continuaria tendo energia elétrica. Entretanto, a legislação ainda não contempla os sistemas fotovoltaicos híbridos, não está autorizado pela Agência Nacional da Energia Elétrica (Aneel) o uso desse sistema.

As regras para o uso da energia solar no Brasil foram publicadas em 2012, definidas pela Resolução Normativa 482 (ANEEL, 2022). Nela estão estabelecidas as condições gerais para a micro e minigeração distribuída e a compensação de energia elétrica.

## 2.3 Inversores Solares

### 2.3.1 Inversor Central

A tipologia de cada sistema é determinada essencialmente pelo tipo do inversor que será utilizado no projeto. A tecnologia dos inversores centrais, representada pela Figura 4 possui uma configuração onde os módulos são conectados em série, chamadas *strings*, gerando uma tensão suficientemente elevada evitando o uso de um andar de amplificação do inversor, as *strings* então são conectadas em paralelo para fornecer uma grande potência na saída, e apenas um inversor é utilizado para fazer a interface com a rede disponível para fazer a ligação do sistema.

São inversores que oferecem uma alta eficiência e conhecidos por também se destacarem por um baixo custo por watt, porém, seu uso é restrito entre módulos com as mesmas características elétricas e sujeitos as mesmas condições, como por exemplo uma possibilidade de sombreamento sobre eles, então caso futuramente seja necessário o aumento de geração do sistema buscando a instalação de mais painéis, eles devem ser obrigatoriamente do mesmo modelo para serem compatíveis ao projeto. A fiabilidade do sistema fotovoltaico também está limitada e dependente de apenas um inversor e em caso de desligamento ou falhas do mesmo toda a instalação será comprometida, prejudicando então a produção de energia.

Essa tecnologia também tem desvantagens que atualmente são facilmente resolvidos com novas tecnologias de outros inversores. A estrutura dos inversores centrais não tem a capacidade de identificar os diferentes pontos de potência que as *strings* podem atingir, ou seja, o uso dos *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), dessa forma o sistema fica sem a possibilidade de otimizar toda essa geração de energia. Essa característica limitada do inversor, justifica a baixa eficiência e confiabilidade em casos de o sistema ser instalado em áreas com desníveis e que seja necessário o uso muitas *strings* com diferentes condições, tornando o design menos flexível e menos atraente na intenção de uma produção de energia em massa, perdendo espaço aos poucos para novas instalações.



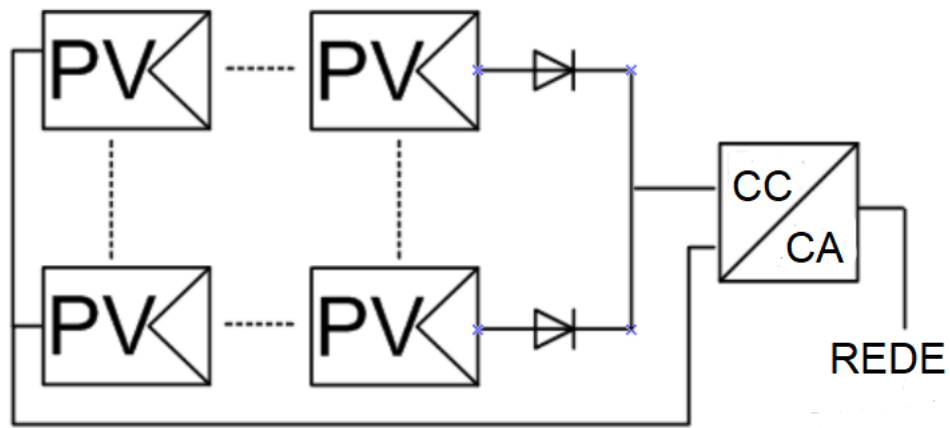


Figura 4 - Inversor Central

Fonte: (M. Johns, 2010)

### 2.3.2 Inversores *strings* (*grid-tie*)

A maior dificuldade do inversor apresentado anteriormente, é contornada pela tecnologia dos inversores *string*, representados pela Figura 5. Ainda possui a característica de evitar a amplificação de alta tensão, porém já possui um rastreamento MPPT para cada *string* que for necessária, pois cada uma está ligada a um inversor, permitindo então essa identificação do seu ponto de máxima potência e permitindo a adaptação da *string* e diminuindo o custo com produção em massa.

Em um cenário onde possa ocorrer sombreamento parcial dos módulos, o desempenho da *string* é prejudicado, o rastreamento MPPT existente nos inversores *strings* ainda não se comporta de maneira a manter a maior eficiência com essa nova condição, então ainda é necessário observar a área a ser utilizada para evitar esse tipo de perda na geração.

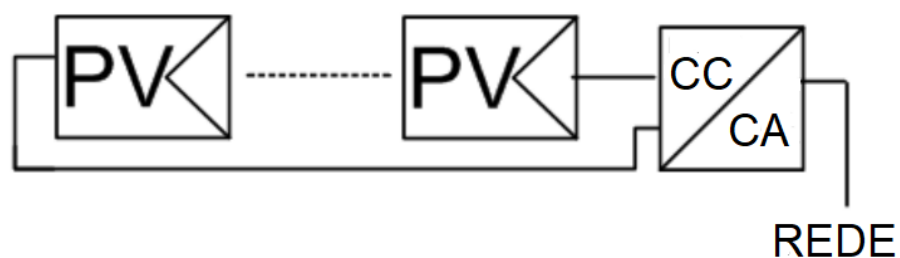


Figura 5 - Inversor *String*

Fonte: (M. Johns, 2010)

### 2.3.3 Inversores *Multi String*

O inversor *multi string*, mostrado na Figura 6, já permite a ligação de várias *strings* nas suas entradas oferecendo o rastreamento MPPT independente por cada uma dessas *strings* do sistema, ideal para projetos com diferentes orientações e inclinações, ou seja, não há mais a restrição de instalação em áreas planas em busca da maior eficiência.

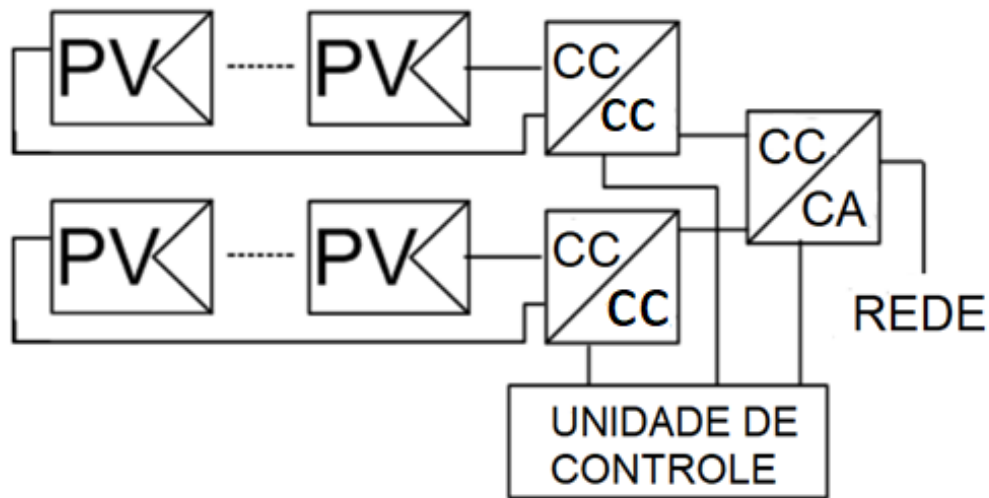


Figura 6 - Inversor *Multi String*

Fonte: (M. Johns, 2010)

### 2.3.4 Micro Inversor

Um dos objetivos da tecnologia dos micro inversores, é conseguir acompanhar e otimizar a potência do equipamento em níveis cada vez mais detalhados como viemos acompanhando a cada modelo apresentado anteriormente, ou seja, conseguindo atingir uma melhor performance do projeto desenvolvido, agora em nível de módulo, ou seja, o MPPT é realizado de maneira mais detalhada ao ponto de acompanhar de maneira mais sensível cada condição apresentada ao projeto, maximizando assim a eficiência global do sistema.

Neste tipo de configuração apresentado, cada micro inversor pode ser conectado individualmente a cada módulo fotovoltaico do projeto, representado pela Figura 7, observa-se o acompanhamento e controle de apenas um PV, os micros inversores são justamente de sistemas fotovoltaicos da categoria Module-Level Power Electronics (MLPE), juntamente com os otimizadores de potência, então não se costuma encontrar essa aplicação em níveis

industriais, por precisar de mais desses dispositivos e dificultando então até mesmo a sua manutenção e aumento de custos. (S. Kouro, 2015)

Essa tecnologia maximiza a eficiência do sistema, é um ótimo investimento para produção em massa para aplicações em áreas com requisitos de sombreamento principalmente, e o acompanhamento da geração fica mais pontual e detalhada para o usuário. Esse tipo de inversor vem se destacando no mercado e promete um grande crescimento futuramente.

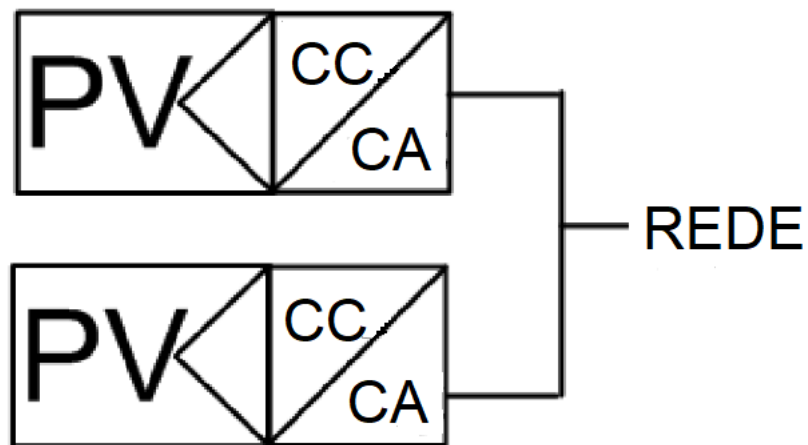


Figura 7 - Micro Inversor

Fonte: (M. Johns, 2010)

## 3. ANÁLISE INVERSOR E MICRO INVERSOR

### 3.1 Principais diferenças

Os micros inversores vêm se destacando no mercado principalmente por oferecerem diferenciais significantes: maior produção de energia, vida útil e segurança (Araujo, 2016). Conseguem produzir até 25% a mais de energia do que sistemas com inversores centrais ou *string*, oferece uma maior segurança na sua instalação e manutenção por terem circuito CC mais simples e com uma menor tensão comparada com os outros inversores, e por operarem em baixa potência, não necessitando de um transformador ou capacitor para o funcionamento alguns outros problemas são eliminados.

#### 3.1.1 Arquitetura

A evolução dos sistemas de energia solar pode ser observada de várias formas, na diversidade de equipamentos para instalação e funcionamento, finalidades cada vez mais diferentes e multifuncionais, além de oferecer uma interface gradualmente com a rede.

Atualmente a maioria das instalações fotovoltaicas já em funcionamento utilizam inversores centrais ou *string*. Na Figura 8, observamos resumidamente a arquitetura de como é realizada a instalação de um sistema utilizando esses inversores, onde os painéis são ligados em série, criando então um arranjo fotovoltaico e posteriormente ligado ao inversor escolhido que será ligado à rede elétrica.

A produção de energia não ótima e a limitação de monitorização detalhada desses sistemas são algumas desvantagens que se destacam para essa configuração. Como já mencionado a performance de todo o arranjo fotovoltaico fica comprometido caso ocorra algum evento não esperado, assim como a sua monitorização também é da *string* completa, dificultando detectar a fonte do problema.

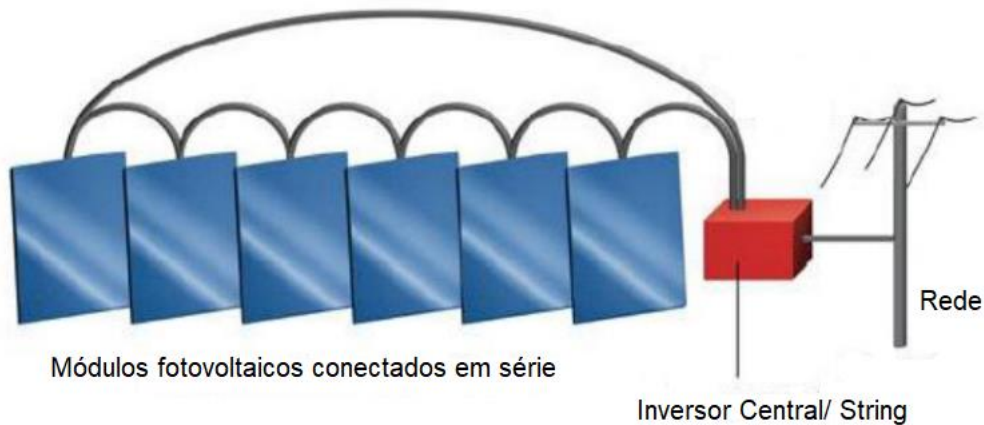


Figura 8 - Arquitetura de um sistema fotovoltaico com inversor central ou *string*

Fonte: (Johnson, 2011)

A instalação dos micros inversores é feita em cada módulo, ou seja, cada micro inversor maximiza a eficiência e produção do sistema exatamente por não prejudicar no desempenho de outros módulos, devido ao MPPT ao nível de módulo e não mais do arranjo, a degradação ou outros fatores como sujidades e sombreamentos não interfere tanto na geração de energia quanto a outra configuração apresentada. A Figura 9 simboliza a maneira como é feita a instalação dos micros inversores até a ligação de cada um deles com a rede.

A capacidade de monitorização alargada é um destaque para essa tecnologia, além de oferecerem essa otimização do sistema, é possível acompanhar em tempo real informações do módulo selecionado revendo seu comportamento e identificar falhas rapidamente através de alarmes disponíveis. A substituição do equipamento, se necessário, também é feito sem causar transtorno ou prejuízo nos outros módulos, facilitando também na manutenção de todo o projeto.

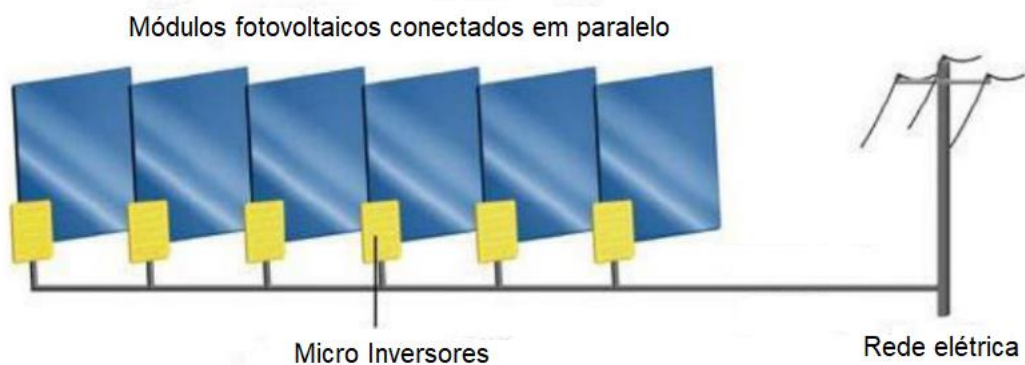


Figura 9 - Arquitetura de um sistema fotovoltaico com micros inversores

Fonte: (Johnson, 2011)

### 3.1.2 MPPT

Condições ambientais como a temperatura e a irradiação provocam variações na potência produzida pelo sistema fotovoltaico, e o desejável é alcançar o funcionamento do módulo no seu ponto de operação máximo, então os inversores são equipados com um sistema eletrônico com essa função de seguir a potência máxima (MPPT).

Esse sistema consiste em um conversor DC/DC que de acordo com o requerido pelo momento ajusta a tensão de saída do painel de modo a que seu ponto de tensão corresponda à máxima potência gerada, pois possuem uma estabilidade, oferece uma rápida resposta dinâmica com pequenos erros e robustez a distúrbios, garantindo uma eficiência em diferentes níveis de potências que pode atingir. (Megiolaro, 2010)

### 3.2 Mismatch e Sombreamento

Foram citados vários fatores que influenciam negativamente na potência total do sistema, prejudicando a geração de energia, e em sistemas com mais de um módulo fotovoltaico tem-se também as perdas por associação, conhecido como mismatch loss, esse efeito corresponde à diminuição da potência total do sistema quando comparada com a soma das potências individuais de todos os módulos associados devido às diferenças elétricas entre os módulos e possíveis sombreamentos. (Krenzinger, 2006)

A perda de geração por mismatch é inevitável, normalmente associamos essa perda apenas ao sombreamento parcial causado por objetos estáticos, chaminés, árvores e construções, porém o movimento das nuvens também deve ser considerado (K. Lappalainen, 2013). As variações de irradiância causada pelas nuvens em movimento, podem levar a possíveis falhas no rastreamento do ponto de máxima potência, causam também flutuações na potência de saída, gerando mudanças grandes e rápidas na produção de energia, por isso a necessidade de um algoritmo de MPPT eficiente e suficiente para acompanhar essa dinâmica no sistema.

A degradação dos módulos que compõem o projeto pode aumentar significativamente, dependendo do tipo de ligações que foram utilizadas e com o sombreamento de apenas uma célula de um módulo por exemplo, também fazem com que a corrente do sistema diminua e conseqüentemente a potência dele, Figura 10. Em casos extremos, um sombreamento ou uma célula com defeito pode ocasionar a perda total de potência do sistema.

O sombreamento sobre os módulos, causados por outros fatores como sujeira acumulada, estruturas próximas à instalação que proporcione sombra durante um período do dia, também prejudica na geração energia como pode ser observado nos gráficos a seguir, mas essa perda pode ser contornada com o uso de dispositivos de proteção, assim evitando também danos maiores ao sistema.

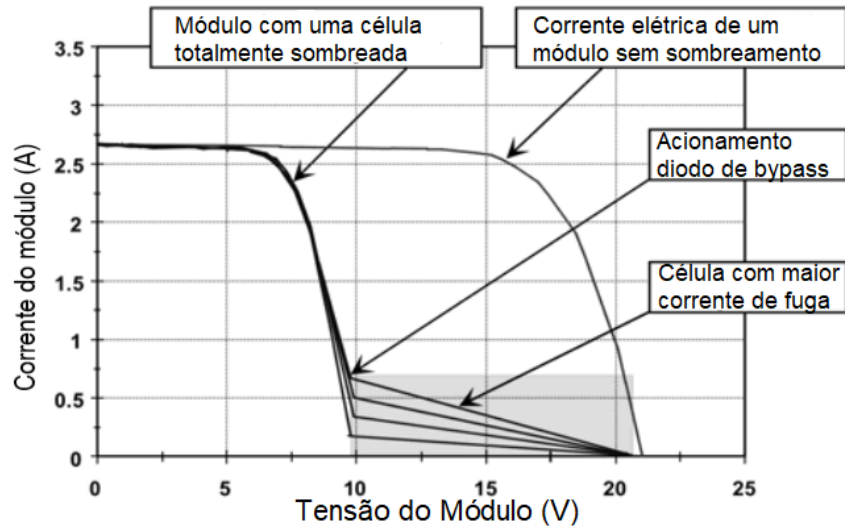


Figura 10 - Efeito do sombreamento na curva I-V do módulo

Fonte: (Martins, 2012)

É possível observar que um sistema com vários módulos ligados em série, o efeito de sombreamento em um dos módulos, leva ao aparecimento de vários máximos locais na curva P-V. O algoritmo de MPPT de um inversor *string* por exemplo pode não operar no seu ponto de máxima potência pelo aparecimento de dois máximos, o máximo local e o máximo global. Dependendo da configuração do algoritmo de MPPT utilizado, este pode não ser suficiente para oferecer a potência correta, ou seja, a potência máxima.

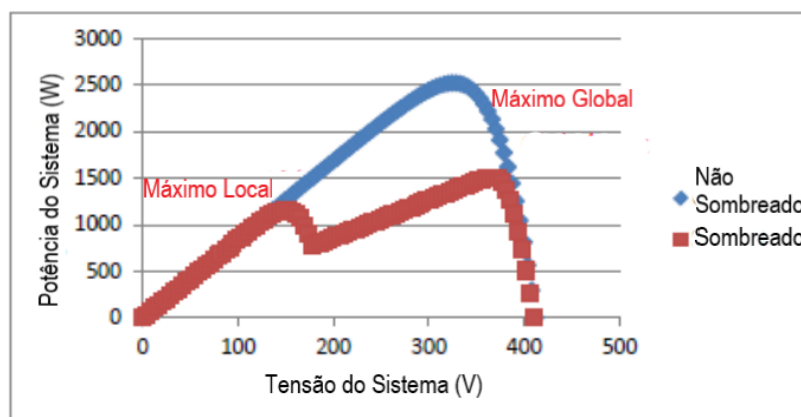


Figura 11 - Curva P-V de uma *string* de módulo

Fonte: (Martins, 2012)

Para solucionar então esses problemas encontrados, eliminando ou reduzindo essas perdas, entra a tecnologia dos micros inversores e otimizadores de potência, maximizando a eficiência e confiabilidade dos sistemas fotovoltaicos.

### 3.3 Performance Ratio

A Performance Ratio (PR) indica a eficácia com que a planta fotovoltaica está trabalhando, ela designa a relação entre a produção energética real e teórica do sistema, então é possível com a ajuda da PR comparar sistemas distintos ligados à rede, com diferentes potências de pico instaladas, tendo como referência inicial ao que seria esperado pelo projeto apresentado.

É considerada um fator de qualidade significativa por justamente ser uma medida da qualidade que o sistema fotovoltaico oferece, além de ser fornecida em porcentagem e demonstrar essa relação entre o rendimento real e o projetado. Fornece uma proporção de energia ainda disponível após a análise e dedução de todas as perdas que a planta instalada pode sofrer e do consumo interno para o funcionamento real para a alimentação

Sistemas fotovoltaicos eficientes normalmente atingem uma Performance Ratio superior a 80 %, quanto mais próximo dos 100% estiver, mais eficaz é o sistema, porém um valor de 100% não é atingível na realidade por durante a operação ocorrerem sempre perdas inevitáveis.



## 4. APLICAÇÕES

A tecnologia dos inversores e micro inversores está sempre em evolução para atender os diversos requisitos apresentados atualmente, e é possível escolher entre modelos e configurações diferentes para o seu sistema funcionar da melhor forma. Alguns modelos e marcas desses equipamentos se destacam por diversos motivos, apresentam desde os mais simples até os mais avançados e atualizados sistemas de funcionamento, contam com opções para linhas residenciais, comerciais e industriais que atendem perfeitamente a sua perspectiva de geração e qualidade.

Inversores monofásicos, ou seja, que são ligados em redes de fornecimento monofásica, normalmente são utilizados em sistemas residenciais. Existem variedades desses com potência máxima de operação diferentes em diferentes modelos, chegando a 5000 ou 6000Watts (W) e com números diferentes de entrada MPPT, porém se houver a necessidade de muitos MPPT ou maior potência deve-se optar por outro equipamento para essa função. Existem também os inversores trifásicos, utilizados em nível comercial e industrial, esses apresentam potências máximas altas para atender a demanda do projeto. Existem por exemplo inversores com saídas trifásicas de 380V ou 800V, variando a sua potência máxima de 12000W até 200000W, que também oferecem diferentes números de entrada MPPT.

Para a escolha entre os micros inversores disponíveis no mercado fotovoltaico, existem os modelos que oferecem números diferentes de conexões com os módulos, isto é, um micro inversor pode ser conectado com um módulo ou oito módulos por exemplo, e continua a oferecer as mesmas funções independente dessa quantidade. Podem ser também monofásicos ou trifásicos, com potência máxima de até 3600W cada micro inversor.

### 4.1 Estudo de Comparação Técnica

Um estudo realizado em Austin, TX, mostrou características e resultados diferentes comparando dois sistemas de 6kW, um sistema baseado em inversor *string* e um sistema baseado em micro inversor, onde foi possível avaliar detalhadamente as duas abordagens e o comportamento de cada sistema, considerando o impacto na geração de energia e no custo estimado para instalação dos sistemas estudados.

Usualmente os micros inversores são mais procurados para projetos residenciais, por serem sistemas menores e por geralmente apresentarem características em que os micro inversores apresentam mais vantagens como já foram listadas anteriormente. A comparação

dos sistemas diferentes com o intuito de entender para qual tamanho de projeto os micros inversores ainda são vantajosos, demonstrou que existem vários fatores que impedem chegar a uma conclusão, principalmente considerando o quesito financeiro desde a projeção até a ligação do sistema. A variação no custo da mão de obra e instalação interferem na escolha final da configuração a ser usada considerando apenas o custo dos inversores, portanto é necessário levar em consideração também a eficiência do sistema e a geração fornecida pelo inversor e micro inversor.

A maior eficiência do micro inversor nem sempre será justificado pelo seu maior preço, por mais que o sistema com essa configuração seja mais eficiente do que os sistemas convencionais com inversor *string*, o ganho com a geração de energia elétrica pode não compensar esse investimento maior no custo do micro inversor.

	MICROINVERSOR	INVERSOR STRING (TRADICIONAL)
<b>GARANTIA</b>	- Standard: 12 anos - Estendida: 20 anos	- Garantia de 2 a 7 anos
<b>PRODUÇÃO</b>	- Produtividade de 15 a 25% a mais de geração - Mais MPPT por sistema	- Produção de Energia inferior
<b>SEGURANÇA</b>	- Corrente contínua de BAIXA tensão	- Corrente contínua de ALTA tensão
<b>INSTALAÇÃO</b>	- Fácil e totalmente em corrente alternada - Não utiliza String Box	- Mais complexa e trabalha em corrente alternada e contínua - Utilização obrigatória de String Box
<b>FLEXIBILIDADE</b>	- Várias configurações de instalação - Sistema 100% modular	- Necessidade de um desenho mais rígido
<b>ESTÉTICA</b>	- Pequeno e leve - Instalação externa, junto do módulo	- Grande e pesado - Instalação dentro da residência

Figura 12 - Vantagem Micro Inversor vs. Inversor *String*

Fonte: Autoria própria

Os sistemas fotovoltaicos comparados, ambos de 6kW, possuem 24 módulos fotovoltaicos de 250W cada, foram projetados utilizando as configurações de um inversor *string* e um micro inversor. A primeira abordagem, utilizando o inversor *string*, Figura 12, formou duas *strings* com 12 módulos conectados em série e as *strings* conectadas em paralelo.

A outra abordagem no qual cada módulo fotovoltaico foi conectado a um micro inversor individual, foram conectados em paralelo como observado na Figura 13.

A monitoração do desempenho dos sistemas é essencial para entender os recursos dos sistemas, observar quais aspectos estão se destacando durante a operação, assim como detectar falhas de forma mais rápida, o que agiliza o tempo de reparo minimizando as perdas na geração de energia.

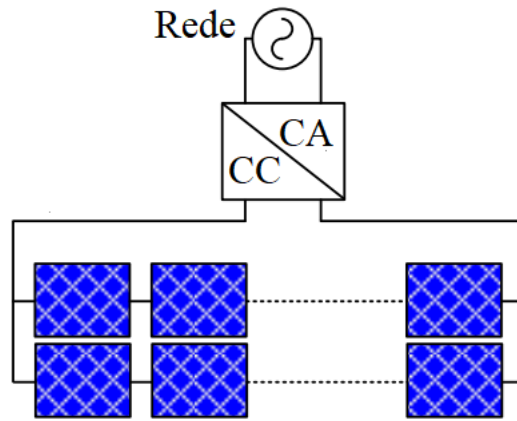


Figura 13 - Configuração com Inversor *String*

Fonte: Harb, Souhib & Kedia, Mohit & Zhang, Haiyu & Balog, Robert. (2013)

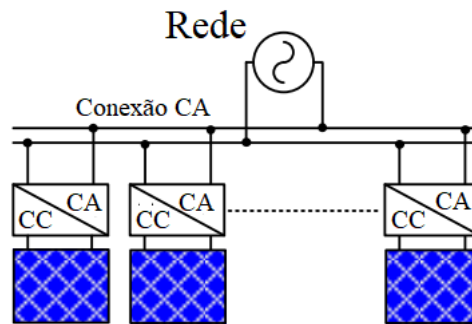


Figura 14 – Configuração com Micro Inversor

Fonte: Harb, Souhib & Kedia, Mohit & Zhang, Haiyu & Balog, Robert. (2013)

#### 4.1.1 Real Impacto das Diferentes Configurações

Ao analisar os sistemas, o impacto na produção de energia por ter módulos sombreados em alguns momentos do dia, os micros inversores se destacam como esperado, além de ter diferentes níveis de irradiação local que afetam na geração final. O estudo de caso levantou dados sobre o efeito do sombreamento nos sistemas considerando um sombreamento parcial de 50% sobre os módulos e de 100%, que podem ser observados nas figuras 14 e 15.

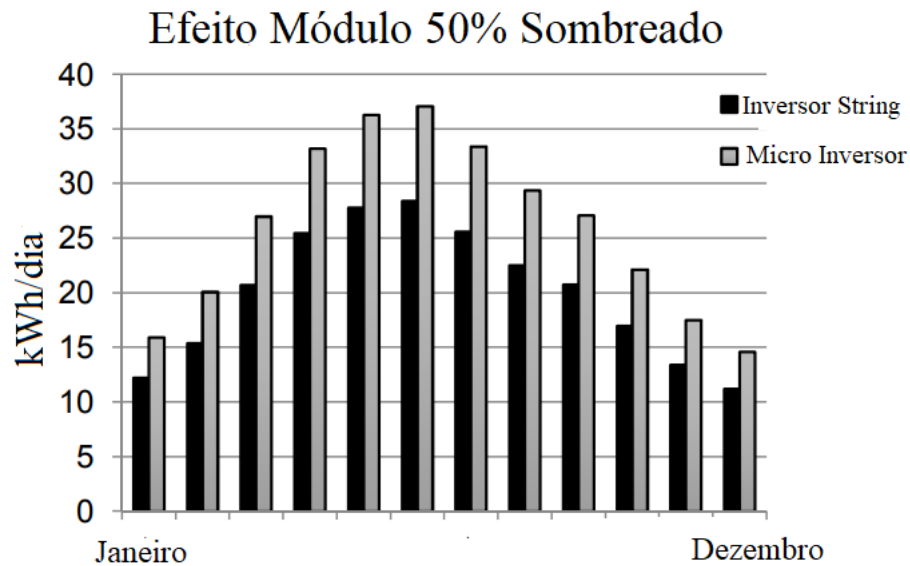


Figura 15 - Impacto do Sombreamento Parcial na Produção de Energia dos Sistemas

Fonte: Harb, Souhib & Kedia, Mohit & Zhang, Haiyu & Balog, Robert. (2013)

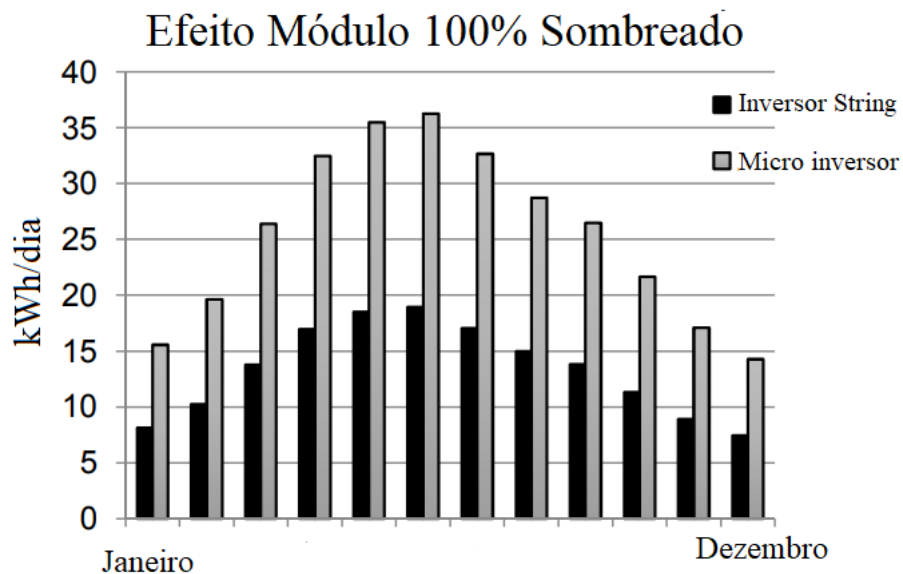


Figura 16 - Impacto do Sombreamento Total na Produção de Energia dos Sistemas

Fonte: Harb, Souhib & Kedia, Mohit & Zhang, Haiyu & Balog, Robert. (2013)

A avaliação da perda de geração de energia devido o efeito dos sombreamentos é obtida, mas o custo exato dessa perda é difícil de concluir por ter vários fatores que variam constantemente, como a localização, a hora do dia que foi extraído os dados, além da estação do ano que foi feito a análise. Considerando uma localização específica, pode se calcular a probabilidade de perda de geração por conta desses sombreamentos, assim, foi feito um estudo para quantificar e categorizar esse efeito sobre os módulos, chegando à três fatores de

ponderação da sombra: sombra clara correspondendo a 7% de redução de irradiância, sombra moderada corresponde de 15% a 19%, e por fim a sombra forte de 25%. E nesse estudo mostrou a vantagem do micro inversor produzindo 12,3% a mais de energia comparado ao inversor *string*. (Harb, Souhib & Kedia, Mohit & Zhang, Haiyu & Balog, Robert. 2013)

## 4.2 Estudo de Comparação Econômica

Considerando o estudo realizado em Austin, os possíveis cenários com equipamentos disponíveis para realizar uma instalação com a potência de 6kW foram simulados a compra para assim ser possível entender a diferença no custo dos sistemas comparando apenas o valor dos inversores e micro inversores utilizados ultimamente. De acordo com a potência total instalada, com a potência de cada módulo, a configuração dos micros inversores, e conforme o número de MPPT disponíveis foi realizado uma pesquisa e selecionado alguns para a comparação do custo dos equipamentos, que pode ser observado na Tabela 1 e 2 juntamente com o Gráfico 1.

Todos os micros inversores comparados são monofásicos, com saída de 220V e que atendem os módulos de 250W cada, e adequado a potência de saída de cada um para atender a potência total esperada.

Tabela 1 – Custo Micros Inversores Atuantes no Mercado

<b>Micro Inversor</b>	<b>Marca</b>	<b>Custo médio (R\$)</b>	<b>Número de MPPT</b>	<b>Potência de Saída (kW)</b>	<b>Quantidade necessária</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
DS3D	APsystems	2.800,00	4	2	3	8.400,00
HMS-2000	Hoymiles	2.800,00	4	2	3	8.400,00
Yc1000-3-380	Apsystems	2.800,00	4	1,2	5	17.000,00

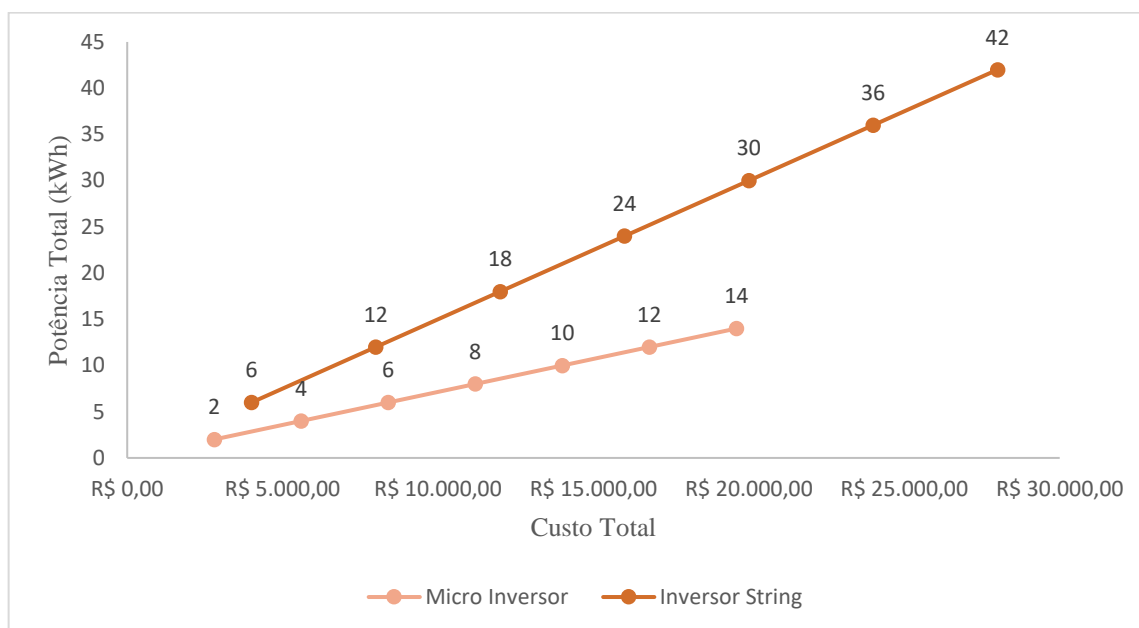
Fonte: Autoria própria

Tabela 2 – Custo Inversores *String* Atuantes no Mercado

<b>Inversor <i>String</i></b>	<b>Marca</b>	<b>Custo médio (R\$)</b>	<b>Número de MPPT</b>	<b>Potência de Saída (kW)</b>	<b>Quantidade necessária</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
SUN2000-5/6TL-L1	Huawei	4.000,00	2	6	1	4.000,00
Sg6.0rs	Sungrow	4.000,00	2	6	1	4.000,00
MIN6000TL-X	Growatt	5.500,00	2	6	1	5.500,00

Fonte: Autoria própria

Gráfico 1 – Comparação Custo e Potência das Configurações



Fonte: Autoria Própria

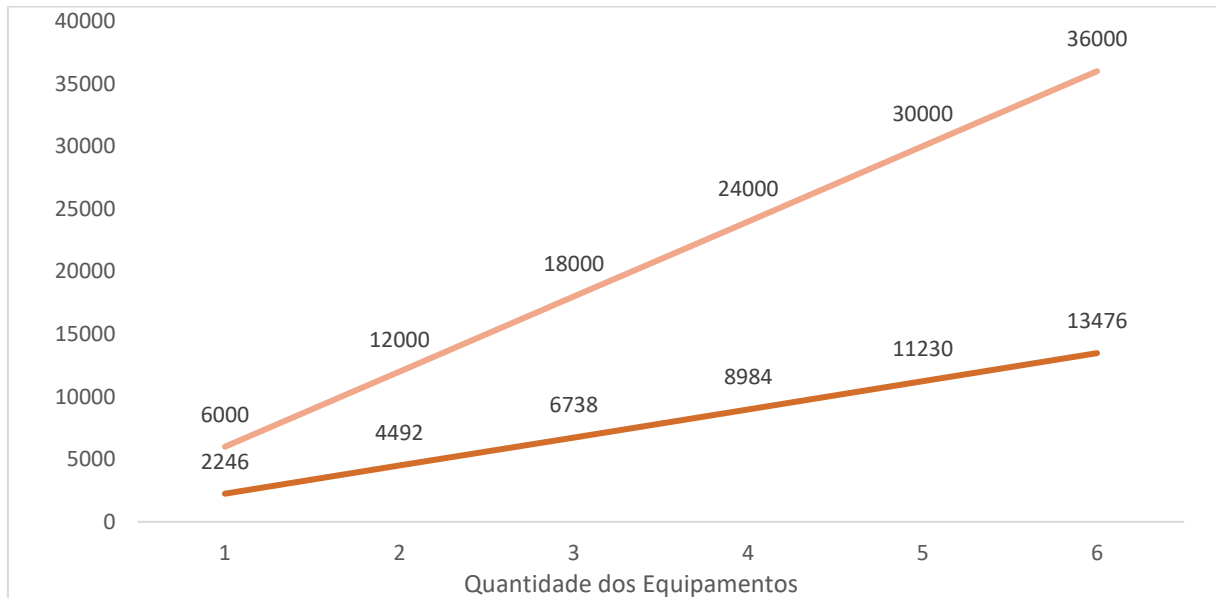
Como esperado o investimento inicial do sistema com micros inversores foi bem maior que do sistema com inversor *string*, então o custo da energia juntamente com a máxima geração de energia do sistema deve ser quantificados para projetar qual sistema teria retorno econômico mais rapidamente, entregando uma ótima geração de energia e gerando uma economia esperada de acordo com o que foi investido inicialmente.

A atratividade de um investimento pode ser avaliada de várias formas, e quantificando o custo de um mesmo produto ou serviço nas suas alternativas disponíveis analisando a sua produção e execução é uma maneira de comparar a eficiência econômica dos processos, e assim, para esse caso onde o produto é a geração de energia, entender o quanto de energia a mais é produzida de acordo com o investimento inicial.

Existem diversos estudos que exemplificam sobre indicadores de desempenho importantes para o entendimento desse tipo de comparação, com o propósito de investir em projetos e tecnologias de energia. Um dos indicadores é o de investimento, que considera os custos do projeto, a compra de equipamentos, o custo de instalação e construção. Geralmente esse valor referente ao investimento é fornecido pela empresa que realizará o serviço, e esse critério pode ser ajustado a variados cenários permitindo a comparação de diferentes projetos com tecnologias de configurações diferentes como o apresentado nesse trabalho, porém isoladamente não é o suficiente para realizar uma escolha entre as opções apresentadas.

A análise de custo total da energia produzida ao longo da vida útil do sistema então deve ser contabilizada, e considerando a diferença apontada anteriormente de 12,3% de energia produzida a mais por sistemas com a configuração utilizando micro inversores, representada no Gráfico 2, mostra que quanto maior a potência instalada maior a diferença entre a geração dos sistemas.

Gráfico 2 – Crescimento da Geração dos Sistemas com o Número de Equipamentos Instalados



Fonte: Autoria própria

O sistema instalado estudado é de 6kW e realizando a conversão de kW em kWh, que é a medida de energia gerada, e considerando uma geração de energia durante 6 horas do dia dos módulos com potência de 250W, temos uma geração de 50 kWh, multiplicado por 24 módulos encontramos o valor de 1.200 kWh, alcançando 3.600 kWh por mês.

Para simplificar, visto que o custo da energia pela distribuidora é variável, considerando o valor kWh médio (com impostos) de R\$ 1,00, renderia uma economia de R\$3.600,00 por mês, com a geração de 6kW, e para uma geração com 12,3% de geração a mais, com 7 meses de utilização economizaria o valor aproximado de um outro micro inversor, como pode ser observado na tabela 3.

Tabela 3 – Geração em kWh Por Mês (Acho que agora ficou claro, mas eu colocaria uma relação monetárias, pega essa diferença de geração, em reais, e em quanto tempo a escola da outra tecnologia se paga)

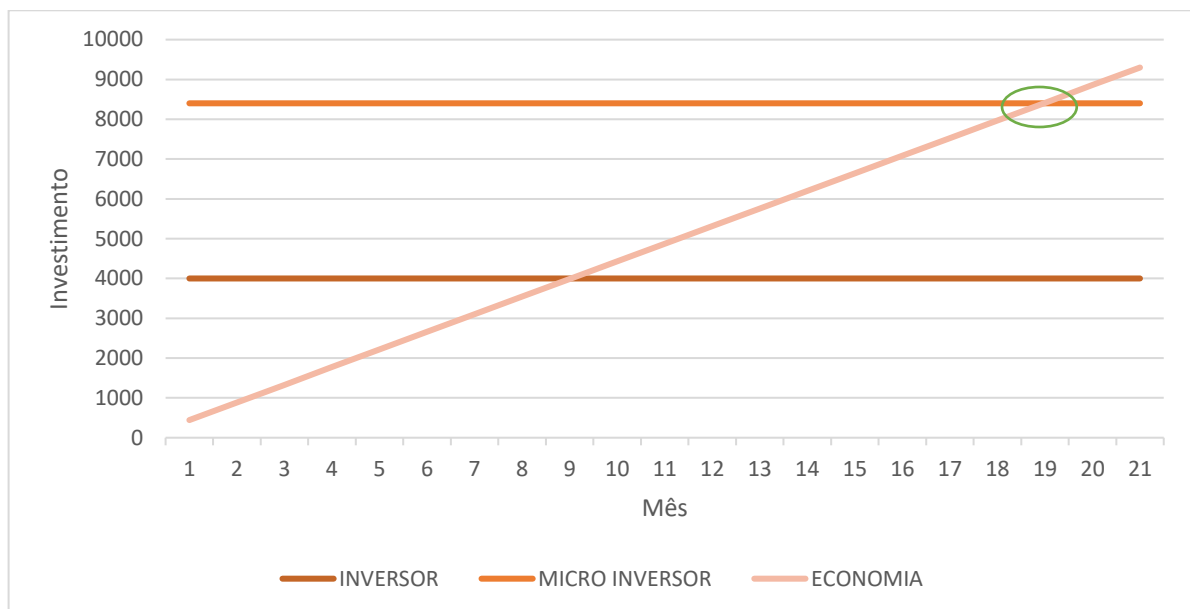
Mês	Geração Inversor String (kWh)	Geração Micro Inversor (kWh)	Diferença na Geração (kWh)	Economia (R\$)

1	3.600	4.042	442	442
2	7.200	8.085	885	885
3	10.800	12.128	1.328	1.328
4	14.400	16.171	1.771	1.771
5	18.000	20.214	2.214	2.214
6	21.600	24.256	2.656	2.656
7	25.200	28.299	3.099	3.099

Fonte: Autoria própria

O investimento inicial no sistema de inversor *string* é de R\$ 4.000,00 e do sistema com micro inversor de R\$ 8.400,00, considerando então uma economia de R\$3.099 após 7 meses de uso de um sistema utilizando micro inversor, em 19 meses o sistema seria pago com a economia gerada, como podemos ver no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Economia na Utilização do Sistema Com Micro Inversor



### 4.3 Vida útil

No mercado atual o custo inicial dos micros inversores assusta o investidor por ter um valor mais alto comparado com os inversores convencionais, e a busca por alta eficiência e baixo custo gera uma dúvida em qual configuração escolher para o sistema. Os sistemas fotovoltaicos, assim como todo sistema elétrico e eletrônico podem apresentar falhas, além das falhas dos equipamentos utilizados, assim, devemos também considerar o tempo médio de falha dos inversores em estudo e analisar a possibilidade de substituição futura ocasionando mais um custo alto no projeto.

O componente que mais apresenta falhas no sistema de energia fotovoltaica é o inversor, e por grande tempo em operação no campo foi possível analisar os dados de falhas



dos sistemas já instalados, e os resultados obtidos mostraram que a o inversor *string* é responsável por aproximadamente 43% das falhas recorrentes. Para os micros inversores ainda não foi possível concluir sobre esse tipo de informação em estudos porque ainda não está no campo há tanto tempo quanto o inversor *string*, porém o tempo médio de falha de acordo com sistemas já instalados ainda é superior, o que significa que a probabilidade do micro inversor operar normalmente sem falhas durante toda a sua vida útil é bem alta.

Os fabricantes de micro inversores geralmente fornecem em média 20 anos de garantia, já os fabricantes de inversores *string* normalmente 10 anos de garantia, e assim espera-se que o inversor precisará ser substituído pelo menos uma vez em 20 anos, então o custo total da vida útil do sistema deve incluir no mínimo 2 inversores, o que estará em operação e um para substituição.

## 5. SEGURANÇA

O trabalho direto com eletricidade requer o cumprimento de regras mínimas priorizando a segurança, conforto e qualidade na construção ou realização de algum projeto ou serviço. Existem Normas Regulamentadoras (NR's), que são emitidas e regularmente alteradas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), a fim de garantir e orientar empregados e empregadores sobre segurança do trabalho e os equipamentos de segurança exigidos para a atividade que será exercida, e as Normas Brasileiras (NBR'S), que são normas técnicas criadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), atuam na padronização, garantia de qualidade eficiência de produtos, regras, entre outros.

Existem diversas normas regulamentadoras obrigatórias na área da elétrica, porém entre as mais utilizadas estão a NR-10, voltada para segurança dos trabalhadores atuando em serviços elétricos do tipo distribuição de energia elétrica, consumo de energia elétrica, construção e montagem de projeto elétrico e manutenção das instalações. Essas normas trazem uma série de medidas de controle e proteção coletivas e individuais, assim como a NR-12, que regulariza a segurança durante o uso de máquinas e equipamentos necessários para o trabalho a ser executado, informando sobre todo o ciclo de vida de máquinas e equipamentos desde o seu transporte até o final da vida útil.

As normas apresentadas devem ser seguidas pelas empresas e empregados, contudo, atualmente a grande maioria dos trabalhadores do setor de energia solar não microempreendedores ou fazem parte de empresas de pequeno porte, tornando-os potencialmente expostos aos riscos existentes nas instalações e serviços.

As principais NBR's utilizadas que diz respeito a normas de instalações elétricas são a ABNT NBR 5410 e a ABNT NBR 14039, elas estipulam condições adequadas para o funcionamento seguro e usual das instalações de baixa tensão e alta tensão respectivamente. Possuem informações importantes sobre a escolha de materiais a serem usados, trata detalhadamente sobre o projeto, execução, manutenção e verificação deles. E a ABNT NBR 5419, que se trata do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), ou seja, regulamenta também o projeto e execução desses sistemas que atuam contra essas descargas, mais conhecidos como para-raios.

A segurança dos sistemas fotovoltaicos está se tornando cada vez mais uma preocupação pelas condições de riscos elétricos e pelo grande investimento financeiro, sendo a perda do sistema um prejuízo muito grande. Independente da configuração instalada apresentarão riscos, seja por ser uma instalação de alta tensão, com inversores convencionais, ou com tensões mais baixas como com micro inversores, porém a tecnologia vem avançando e a detecção dos variados problemas que podem apresentar são alertados para evitar acidentes de alto potencial.

## 5.1 Riscos e Soluções de Segurança

Durante e após a instalação de um sistema fotovoltaico envolvem riscos elétricos que devem apresentar solução de segurança eficazes para evitar acidentes sérios tanto para o instalador do sistema solar, ao eletricista que está trabalhando ou realizando uma manutenção, e até mesmo para o proprietário e usuário do sistema. Um dos riscos mais sérios que pode ocorrer em um sistema fotovoltaico é o efeito arco elétrico, que pode ser disparado por:

- Degradação da isolação com o tempo, devido a exposição aos raios UV e ao envelhecimento;
- Danos ao isolamento causado por animais;
- Conexões soltas
- Corrosão de junção;
- Entrada de água nos conectores, caixa de proteção, inversor, eletrodutos e módulos.

Os arranjos fotovoltaicos, ao sofrerem danos por incêndios, curto-circuito, ou quebra de módulos, podem criar caminhos de circuito, criando um risco potencialmente fatal. Embora pode ocorrer danos em alguns módulos, o sistema ainda pode produzir corrente e eletrificar dutos e estruturas ao redor. A função de desligamento em inversores tradicionais interrompe apenas o fluxo de corrente, enquanto a tensão permanece alta, pois as chaves seccionadoras localizados nos inversores, ou também chamados de interruptores automáticos CC, não são capazes de desconectar a alta tensão dos módulos, assim como o cabeamento que é encaminhado até o inversor também permanecem energizados.

Para solucionar efetivamente esses riscos, é preciso o desligamento automático à nível de módulos, desligando a corrente e/ou tensão dos módulos e nos condutores, ou seja, os micros inversores por possuírem a tecnologia MLPE, conseguem então oferecer maior segurança.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Ao estudar os sistemas é possível considerar que projetos que apresentam alguma desvantagem na geração por localização ou irradiação podem optar por um sistema com configuração para micro inversores, isso por apresentar melhor produção de energia, melhor custo benefício a longo prazo, visto que algum reparo ou substituição envolvendo o micro inversor estaria fora dos planos do investidor, e mais segurança tanto na instalação quanto manutenção, por trabalhar com tensões mais baixas e por apresentarem a tecnologia MLPE.

Os inversores convencionais tem seus diferenciais por serem mais conhecidos e assim terem mais confiabilidade por parte dos usuários, o tempo de uso no mercado, diversidade de configuração e a alta demanda desse equipamento e qualidade do mesmo destacam-se na hora da escolha do sistema.

A diferença na geração deve ser considerada quando o investimento final realmente for vantajoso, então deve se analisar a porcentagem na perda de produção, os custos reais e os custos que podem aparecer futuramente, para então o sistema ser mais eficiente e econômico simultaneamente.

## **7. TRABALHO FUTURO**

Sugere-se que no seguinte passo a ser dado com esse trabalho apresentado, possa ser feito uma avaliação do desempenho de um sistema já existentes e seja possível verificar com a ajuda desse documento se há a necessidade ou não de um investimento na troca do inversor utilizado de acordo com o que é oferecido em geração, observando se houve o aparecimento de novos sombreamentos que não foram considerados no momento da instalação, perdas de geração por escolha equivocada do inversor e também análise na economia oferecida desde a instalação até a manutenção do sistema.

## 8. CONCLUSÃO

Após toda a análise feita em cima dos inversores e micro inversores apresentados, é possível entender que em cada projeto irá existir particularidades e requisitos diferentes, que mudarão completamente o objetivo da aplicação, influenciando diretamente na escolha do equipamento certo para o sistema a ser instalado.

As análises teóricas individuais de cada configuração mostrou que quando o custo de energia é equilibrado, pode-se alcançar o investimento nos micros inversores mais rapidamente do que com um inversor *string* atuando em um mesmo ambiente, e considerando a possibilidade de realizar a substituição do inversor *string* do sistema, associado à falha esperada, o micro inversor também se destaca por ter mais tempo de vida útil e por não apresentar falhas como o inversor *string*, sendo assim mais econômico.

Com o mercado solar em ascensão e cada vez mais disposto a atender às exigências que os usuários vêm apresentando, aparecerão novas tecnologias e soluções, porém o entendimento básico do funcionamento do projeto de geração de energia solar e o objetivo bem definido desde os custos iniciais para a instalação e futuros para manutenção do sistema, proporcionará uma boa experiência e retorno positivo na utilização dessa inovação.

## 9. REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. (2022). Fonte: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>
- ANEEL. (2022). Fonte: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>
- Araujo, F. O. (2016). *Proposta de Adaptação da Norma Brasileira ABNT NBR 16274 e de Alguns Pontos em Normas Técnicas em Determinadas Concessionárias para Correta Avaliação da Metodologia de Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede com Inversor Orientado*. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar (VI CBENS).
- FADIGAS, E. A. (2012). *Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade Técnico-Econômica*. Fonte: <https://edisciplinas.usp.br/>
- Johnson, J. (2011). *The Evolution of PV Solar Power Architectures*. Enecsys.
- K. Lappalainen, A. M. (2013). *Effects of the Sharpness of Shadows on the Mismatch Losses of PV Generators under Partial Shading Conditions Caused by Moving Clouds*. European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. PARIS.
- Krenzinger, G. A. (2006). *EFEITO DO SOMBREAMENTO EM CÉLULAS DE UMA ASSOCIAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE*. ASADES.
- M. Johns, H.-P. L. (2010). *Grid-Connected Solar Electronics*. University of California at Berkeley, Berkeley.
- Martins, N. M. (2012). *Incorporação de Microinversor em Módulos Fotovoltaicos*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- Megiolaro, M. (2010). *Análise de Métodos de Busca do Ponto de Máxima Potência em Sistemas Fotovoltaicos*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- MORAES, C. F. (2020). *Projeto e implementação de um conversor CC-CC isolado com elevado ganho estático e rendimento para aplicação em microinversores fotovoltaicos*.
- S. Kouro, J. I. (2015). *Grid-Connected Photovoltaic Systems: An Overview of Recent Research and Emerging PV Converter Technology*. IEEE.
- P. A. B. James, A. S. Bahaj, and R. M. Braid, "PV array < 5kWp + single inverter = grid connected PV system: Are multiple inverter alternatives economic?," *Solar Energy*, vol. 80, pp. 1179-1188, 2006.
- S. Harb, M. Kedia, H. Zhang, and R. S. Balog. (2013). "Microinverter and string inverter grid-connected photovoltaic system; a comprehensive study,"
- GENYX SOLAR POWER. (2023). Fonte: [https://genyx.com.br/produto/hoymiles-mi-1500/?gclid=CjwKCAiAuOieBhAIEiwAgjCvckS6XssfFsFilBUICdX9PZDV9QkRSaxiJGumnj5m0-eyLtN8PQSkMxoCa6oQAvD\\_BwE](https://genyx.com.br/produto/hoymiles-mi-1500/?gclid=CjwKCAiAuOieBhAIEiwAgjCvckS6XssfFsFilBUICdX9PZDV9QkRSaxiJGumnj5m0-eyLtN8PQSkMxoCa6oQAvD_BwE)

A. Ristow, M. Begovic, A. Pregelj, and A. Rohatgi. (2008). "Development of a Methodology for Improving Photovoltaic Inverter Reliability," *IEEE Trans. on Ind. Elecs.*, vol. 55, pp. 2581-2592.

A. Golnas. (2013). "PV System Reliability: An Operator's Perspective," *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 3, pp. 416-421

Harb, Souhib & Kedia, Mohit & Zhang, Haiyu & Balog, Robert. (2013). *Microinverter and string inverter grid-connected photovoltaic system — A comprehensive study. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. 2885-2890. 10.1109/PVSC.2013.6745072.

SolarBridge Technologies Website [Online]. Fonte: <http://solarbridgetech.com>, Acessado em: 15/12/2022