

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO ENTRE INVERSORES: CENTRAL, STRING, MICROINVERSOR E OTIMIZADORES.

Keisy Kristine Ventura dos Santos

kkvs@discente.ifpe.edu.br

Orientador: Manoel Henrique de Oliveira Pedrosa Filho

Manoel@pesqueira.ifpe.edu.br

RESUMO

Este estudo compara o desempenho de quatro tipos de inversores fotovoltaicos — central, string, microinversor e otimizadores — por meio de simulações no software PVSyst. Foram analisadas três instalações com diferentes níveis de sombreamento e dois tipos de módulos (550 W e 255 W), variando o Fator de Desempenho da Instalação (FDI = 1,33; 1,00; 0,67). Os principais critérios de avaliação foram: energia gerada, perdas no inversor e performance ratio (PR). Os resultados mostraram que o inversor string com otimizadores apresentou o melhor desempenho global, principalmente em ambientes com perdas. O microinversor teve bom rendimento apenas em condições ideais. O inversor central foi o menos eficiente em quase todos os cenários. O módulo de 550 Wp superou o de 255 Wp em todos os testes. O estudo reforça a importância de escolher a tecnologia de inversor conforme as condições do local.

Palavras-chave: FDI. Desempenho. Comparação.

ABSTRACT

This study compares the performance of four types of photovoltaic inverters — central, string, microinverter, and optimizers — through simulations using the PVSyst software. Three installations with different levels of shading and two types of modules (550 W and 255 W) were analyzed, varying the Installation Performance Factor (IPF = 1.33; 1.00; 0.67). The main evaluation criteria were: energy generated, inverter losses, and performance ratio (PR). The results showed that the string inverter with optimizers delivered the best overall performance, especially in environments with losses. The microinverter performed well only under ideal conditions. The central inverter was the least efficient in almost all scenarios. The 550 W module outperformed the 255 W module in all tests. The study reinforces the importance of selecting the inverter technology according to site conditions.

Keywords: IPF. Performance. Comparison.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem sido cada vez mais evidente o crescimento da busca por energias renováveis e os esforços para incentivá-las. No início de 2019, com o advento da pandemia de COVID-19, muitos acreditavam que esse evento seria um grande obstáculo para o avanço das energias renováveis. No entanto, o que se observou foi exatamente o oposto. Em 2020, o setor de energias renováveis demonstrou resiliência, com mais de 256 gigawatts (GW) de capacidade renovável adicionados globalmente, superando o recorde anterior em quase 30% (REN21, 2021).

Entre as diversas fontes de energia renovável, a energia solar se destaca. A utilização dessa energia não só oferece benefícios econômicos, mas também contribui para a sustentabilidade. Embora ainda seja mais comum em residências, o uso de sistemas solares está crescendo também no setor empresarial, tornando-se uma alternativa cada vez mais atraente para reduzir custos operacionais e melhorar a eficiência ambiental das empresas (WEG, 2023).

No Brasil, o potencial para energia solar é vasto. Isso acontece, pois é uma região próxima à linha do Equador, e com isso, o país recebe alta incidência de sol durante o ano todo (FATOR SOLAR, 2021). Devido a isso, a capacidade instalada no país vem crescendo cada vez mais. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), Em Janeiro de 2024, a fonte superou os 8 gigaWatts de capacidade instalada e 16,8% da matriz elétrica do Brasil correspondia à energia solar. Sendo incluso na capacidade, a geração centralizada e geração distribuída (ABSOLAR, 2024).

Dentre as modalidades de geração de energia solar, temos a geração distribuída, que inclui a micro geração e a mini geração. Essa modalidade tem ganhado grande destaque hoje em dia, pois, trás mais autonomia energética e também uma grande economia para os proprietários de estabelecimentos, sejam eles comerciais ou residenciais. Em janeiro de 2024, essa modalidade soma 26,3 GW (ABSOLAR, 2024).

Diante deste cenário, a escolha do inversor interfere bastante no desempenho do sistema. Os inversores são responsáveis por converter a corrente contínua (CC) gerada pelos módulos, em corrente alternada (AC). Hoje, se tem no mercado o inversor String, Central, Microinversor e o otimizador. Além disso, cada um deles possui uma tecnologia diferente, e, por isso, devem ser analisados, cuidadosamente, os fatores aos quais cada sistema está submetido e utilizar o tipo de inversor mais adequado.

Este trabalho, sendo uma pesquisa exploratória, tem como objetivo comparar o desempenho entre os diferentes tipos de inversores, sendo eles o inversor central, inversor string, microinversor e o otimizador, através do software PVSYST. Será analisado qual o melhor local e condições ambientes em que cada um deve ser utilizado, através do estudo das perdas de cada um, e assim contribuir para o avanço do estudo de micro geração no Brasil.

OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo comparar o desempenho dos diferentes tipos de inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos, incluindo o inversor central, o microinversor, o inversor string e os otimizadores solares, visando identificar qual configuração apresenta maior eficiência e melhor rendimento energético nas condições analisadas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar simulações no software PVSYST para comparar o desempenho dos inversores central, microinversor, string e otimizadores em diferentes configurações;
- Avaliar o impacto dos diferentes Fatores de Desempenho de Irradiação (FDI) — 0,67, 1 e 1,33 — no rendimento dos sistemas fotovoltaicos com cada tipo de inversor;
- Comparar o desempenho de dois modelos distintos de módulos fotovoltaicos em combinação com os diferentes tipos de inversores;
- Analisar qual configuração apresenta a maior eficiência energética e menor perda de rendimento sob as condições simuladas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

[1] O artigo "Performance Comparison between Micro-inverter and String-inverter Photovoltaic Systems" comparou o desempenho de sistemas fotovoltaicos com microinversores (MIS) e inversores string (SIS), todos instalados na Sicília, Itália. Foram avaliados seis sistemas (quatro com microinversores e dois com string) em diferentes locais, com variações de orientação, inclinação e níveis de sombreamento.

Foram utilizados indicadores como PR (Performance Ratio), Y_f (Energy Yield) e eficiência global para garantir uma comparação justa entre os sistemas, mesmo com condições distintas de radiação solar e potência instalada.

Os sistemas com microinversores apresentaram desempenho superior mesmo com presença de sombreamento. No cenário com sombreamento médio de 6,7%, os microinversores produziram em média 4,8% a mais energia real por potência instalada do que os inversores string. Em uma análise potencial (potência nominal real dos microinversores), o ganho chegou a mais de 20%. Os microinversores também se destacam por permitirem maior flexibilidade de instalação em telhados pequenos ou com geometrias irregulares.

Conclusão:

Microinversores mostraram maior eficiência energética e adaptabilidade, mesmo sendo instalados em condições menos ideais. O estudo reforça seu potencial para aumentar a geração distribuída e aproveitar melhor o espaço disponível em edifícios.

[2] O estudo Análise de Desempenho de Dois Sistemas Fotovoltaicos em Teresina-PI comparou dois sistemas fotovoltaicos: um com inversor string (SFCR 1) e outro com microinversores (SFCR 2), instalados em residências diferentes na cidade de Teresina-PI, ao longo de um ano (dez/2020 a nov/2021).

Principais Resultados:

Média de geração mensal real:

SFCR 1 (inversor string): 1871,06 kWh/mês

SFCR 2 (microinversores): 1706,67 kWh/mês

Produtividade final (kWh/kWp):

SFCR 1: 1523,59

SFCR 2: 1505,88

Desempenho global (Performance Ratio):

SFCR 1: 79,52%

SFCR 2: 80,75%

Eficiência de simulação (dados PVSYST):

Ambos os sistemas apresentaram valores simulados maiores que os medidos, especialmente entre março e julho.

Conclusões:

Ambos os sistemas atenderam às necessidades energéticas das residências. O sistema com microinversores mostrou-se mais adequado para telhados com sombreamento parcial, como no caso do SFCR 2.

A diferença na geração entre os sistemas foi discreta, mas o uso de microinversores permitiu melhor monitoramento individualizado dos módulos. Ambos os sistemas apresentaram bom desempenho, com resultados próximos ao previsto nas simulações.

[3] Avaliação do Desempenho de Inversores Conectados à Rede para Sistemas Fotovoltaicos

Este estudo analisou o desempenho de três modelos comerciais de inversores fotovoltaicos conectados à rede, utilizando o método de análise comparativa com base em medições reais. Os testes foram realizados com diferentes níveis de potência e condições ambientais.

- **Eficiência Máxima dos Inversores:**

- **Inversor A:** até **95,5%**
- **Inversor B:** até **95,1%**
- **Inversor C:** até **94,9%**

Todos os inversores operaram dentro dos padrões esperados para equipamentos conectados à rede.

- **Fator de Potência (Power Factor):**

- Mantido **próximo a 1** durante a maior parte da operação, indicando boa qualidade na entrega de energia ativa à rede.

- **Distorção Harmônica Total (THD):**

- Todos os inversores apresentaram **níveis de THD abaixo de 5%**, atendendo aos limites recomendados pelas normas internacionais, o que indica **baixa interferência harmônica** na rede elétrica.

- **Desempenho sob Condições Variáveis:**

- A eficiência dos inversores variou conforme a irradiação solar e a temperatura ambiente, mas **todos mantiveram desempenho estável**, mesmo com cargas parciais.

Os três inversores (string) testados demonstraram bom desempenho elétrico, alta eficiência e conformidade com as normas de conexão à rede. O estudo reforça a viabilidade e segurança do uso de inversores comerciais em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, tanto do ponto de vista da eficiência energética quanto da qualidade de energia fornecida.

[4] Estudo Fraunhofer (2022): Inversores com Múltiplos MPPTs vs. Inversores com MPPT Único.

Este estudo do Instituto Fraunhofer ISE, avaliou o impacto de usar inversores com múltiplos MPPTs (pontos de máxima potência) em comparação com inversores com apenas um MPPT, em diferentes cenários de instalação fotovoltaica.

Strings assimétricos (número diferente de módulos por string) e Sombras localizadas (ex: árvores próximas ao sistema) possuem Ganhos de até 1% em energia gerada, mas esses ganhos podem ser anulados por eficiência inferior dos inversores multi-MPPT.

Strings com diferentes orientações (ex: leste/oeste), Strings com inclinações diferentes, Sombras entre fileiras em sistemas no solo (com ou sem rastreadores) e Desvios de temperatura, soiling e degradação dos módulos possuem ganhos mínimos e, muitas vezes, menores que as perdas por menor eficiência dos multi-MPPT.

Resumindo, Inversores com MPPT único tendem a apresentar rendimento superior na maioria dos casos, devido à maior eficiência interna. Além disso, O uso de multi-MPPTs só é vantajoso em casos com sombreamento relevante ou strings não uniformes. Outro ponto é que Em sistemas homogêneos (mesma orientação, inclinação e pouco sombreamento), os ganhos dos multi-MPPT são praticamente nulos.

[5] “Performance Comparison of PV Inverters under Partial Shading Conditions” (2023)

Este estudo avaliou o desempenho de três tecnologias de inversores fotovoltaicos com **condições de sombreamento parcial**:

Inversor com MPPT centralizado (string tradicional)

Inversor com múltiplos MPPTs (multi-string)

Microinversores

1. Geração de Energia sob Sombreamento Parcial:

Microinversores apresentaram **o melhor desempenho**, mantendo **até 95% da energia** comparada a condições ideais.

Inversores multi-MPPT tiveram desempenho intermediário, com perdas de aproximadamente **8 a 15%** dependendo do cenário.

Inversores com MPPT único sofreram perdas significativas, chegando a **30% ou mais** em alguns casos.

2. Eficiência de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT):

Microinversores se ajustaram **rapidamente e individualmente** aos diferentes níveis de irradiância.

Multi-MPPTs conseguiram minimizar perdas quando strings com sombreamento foram conectados a MPPTs separados.

Inversores com um único MPPT não conseguiram isolar os efeitos do sombreamento, afetando toda a string.

3. Qualidade de Energia (Harmônicos e THD):

Todos os inversores operaram dentro dos limites aceitáveis de qualidade de energia.

Microinversores apresentaram **ligeira vantagem na estabilidade da tensão e menor distorção harmônica** em algumas condições.

Conclusão:

Em sistemas com **sombreamento parcial frequente ou variado**, **microinversores** são as melhores escolhas em termos de rendimento energético.

Inversores com múltiplos MPPTs são uma **boa alternativa** quando microinversores não são viáveis, especialmente em sistemas com strings separadas

com sombreamento.

Inversores com MPPT único devem ser usados apenas em sistemas **homogêneos e sem sombra**.

[6] Conclusões Gerais

Esses estudos serviram como embasamento para o trabalho realizado e contribuíram bastante sobre o que se devia esperar de cada inversor, sobre seu comportamento, e quais configurações, teoricamente, seriam mais e menos eficientes. Em nossas conclusões, foi visto que o resultado obtido estava de acordo com a revisão bibliográfica e a única diferença foi a junção do inversor string com otimizador, que trouxe um desempenho bem maior.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O inversor solar fotovoltaico é um dos componentes mais importantes de um sistema de geração solar, pois é responsável por converter a energia em corrente contínua (CC), gerada pelos módulos fotovoltaicos, em corrente alternada (CA), que é a forma de energia utilizada em residências, comércios e indústrias (PORTAL SOLAR, 2025).

Com o crescimento da demanda por sistemas fotovoltaicos e o avanço da tecnologia, surgiram diferentes tipos de inversores, cada um com características específicas voltadas à maximização do desempenho e aproveitamento da energia solar, independentemente das condições de instalação.

Atualmente, os principais tipos de inversores disponíveis no mercado são: o inversor central, o inversor string, o microinversor e os otimizadores de potência.

Inversor Central:

O inversor central atua no controle da energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, assegurando sua conversão e distribuição de maneira segura e eficiente. A Figura 1 apresenta o modelo de inversor central utilizado nas simulações do presente estudo, um equipamento da marca Fronius com potência nominal de 15 kW (Fronis, 2025). Além disso, esse tipo de inversor é capaz de acompanhar o desempenho do sistema e se integrar a plataformas de monitoramento remoto, permitindo a supervisão em tempo real (EDUARDO AQUINO, 2024).

Figura 1: Inversor Central de 15 kW - Fronius



Fonte: Fronius

Esses inversores apresentam características semelhantes às do inversor string. No entanto, a principal diferença entre eles está relacionada à quantidade de controladores MPPT (Maximum Power Point Tracking – Rastreamento do Ponto de Máxima Potência). Enquanto inversores string geralmente contam com múltiplos MPPTs, o inversor central opera com apenas um único MPPT, independentemente do número de entradas disponíveis. Isso significa que todas as entradas do inversor central compartilham o mesmo ponto de rastreamento de potência.

Por possuírem apenas um único MPPT, os inversores centrais são mais indicados para instalações onde não há sombreamento significativo. Isso porque, caso ocorra algum problema em um dos módulos — como sombreamento, sujeira ou falha — toda a string à qual ele pertence terá seu desempenho comprometido. Além disso, como todas as strings estão conectadas a um único MPPT, o sistema realizará o rastreamento do ponto de máxima potência considerando a média geral, o que pode reduzir a eficiência global do sistema.

Além disso, inversor central fotovoltaico é amplamente utilizado em usinas solares de grande porte devido à sua robustez, alta capacidade de potência e boa eficiência. Sua arquitetura facilita a integração com a rede elétrica, sendo uma peça-chave no desenvolvimento e expansão da geração solar em escala industrial (CAMPOS, 2025).

Inversor String:

Como mencionado anteriormente, o inversor string apresenta características semelhantes às do inversor central. A Figura 2 mostra o modelo de inversor string de 15 kW, da fabricante Growatt, utilizado nas simulações com múltiplos MPPTs (GROWATT, 2025). A principal diferença entre esse inversor e o central está na quantidade de controladores MPPT. Um inversor é classificado como string quando possui, no mínimo, dois MPPTs. Cada MPPT pode contar com uma ou mais entradas, permitindo maior flexibilidade e desempenho na operação de diferentes strings de módulos fotovoltaicos.

Figura 2: Inversor String de 15 kW - Growatt



Fonte: Growatt

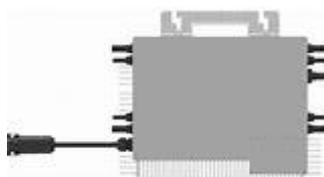
Outro ponto importante é que os inversores string oferecem uma série de benefícios nos sistemas fotovoltaicos, tanto em termos técnicos quanto financeiros. Desenvolvidos para maximizar a geração de energia, esses equipamentos asseguram um desempenho estável e eficiente ao longo do tempo. Outro ponto positivo é a facilidade de instalação e manutenção, o que pode reduzir custos operacionais e simplificar o gerenciamento do sistema para os usuários (GUIA ENERGIA SOLAR BRASIL, 2025).

Diferentemente do inversor central, em sistemas com inversores string, caso ocorra um problema em um módulo, apenas a string à qual ele pertence — e possivelmente outras conectadas ao mesmo MPPT — terá seu desempenho comprometido. As demais strings, conectadas a MPPTs independentes, continuarão operando normalmente, sem prejuízo de rendimento.

Microinversor:

O microinversor solar, também conhecido como micro inversor, desempenha a mesma função que o inversor string, porém com uma diferença fundamental: ele é um equipamento compacto e ideal para sistemas mais modulares. Devido a essas características, o microinversor realiza um “controle individualizado” em cada módulo fotovoltaico. Diferentemente do inversor string, que fica instalado longe dos painéis e gerencia vários módulos simultaneamente, o microinversor é conectado diretamente atrás de cada painel, atendendo grupos menores de forma mais precisa (NEOSOLAR, 2025). A Figura 3 ilustra o microinversor de 2,25 kW da marca DEYE, utilizado nas simulações do presente trabalho, com tecnologia de quatro MPPTs individuais (DEYE, 2025).

Figura 3: Microinversor de 2,25 kW - DEYE



Fonte: DEYE

Como o microinversor controla apenas alguns módulos, e não uma string inteira como mencionado anteriormente, as perdas no sistema são significativamente
Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica.
01 de agosto de 2025

reduzidas. Isso porque, caso ocorra algum problema em um módulo específico, apenas ele ou o pequeno grupo de módulos (de 2 a 4) aos quais está conectado terá seu desempenho afetado, preservando o funcionamento das demais partes do sistema.

Esse tipo de tecnologia é o mais indicado, quando se tem uma aplicação bastante sombreado. Em residências, os microinversores viabilizam a instalação de sistemas fotovoltaicos em telhados que sofrem sombreado parcial, garantindo que cada módulo opere com maior eficiência. Já em ambientes comerciais e industriais, esses dispositivos permitem um monitoramento detalhado do desempenho individual de cada painel, facilitando a detecção e o reparo rápido de possíveis problemas (FRANCO, 2025).

Otimizador:

Os otimizadores solares são equipamentos desenvolvidos para aumentar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos atuando diretamente em cada módulo. Ao trabalhar individualmente em cada painel, eles asseguram que, mesmo quando algum estiver sombreado ou apresentando falhas, os demais mantenham sua produção energética no máximo desempenho (ANDSOLARTECH, 2025). A Figura 4 apresenta o otimizador de potência TS4-AO, da TIGO, com capacidade de 700 W, utilizado nas simulações do estudo para permitir rastreamento individual do ponto de máxima potência em cada módulo.

Figura 4: Otimizador TS4 – A0 700 W - TIGO



Fonte: allegro

É importante destacar que, quando há sombreado que limita o desempenho de um módulo fotovoltaico e altera a curva IV geral do sistema, o otimizador atua para minimizar significativamente esse impacto (LGL SOLAR, 2025).

Para sistemas solares que enfrentam sombreado, os otimizadores são, sem dúvida, uma excelente escolha. No entanto, mesmo em sistemas sem sombras, eles contribuem para aumentar a geração de energia, pois, mesmo sob irradiação solar uniforme, os módulos em uma string apresentam características distintas. A utilização de MPPT individual para cada módulo melhora a eficiência geral dos sistemas fotovoltaicos, especialmente em situações onde os painéis estão instalados em diferentes ângulos e inclinações — condições em que os inversores string tradicionais costumam ter desempenho inferior (LGL SOLAR, 2025).

METODOLOGIA

O presente estudo tem como objetivo comparar o desempenho de diferentes tecnologias de inversores fotovoltaicos — inversores string, microinversores, inversores centrais e inversores com otimizadores — em distintas condições de instalação, utilizando o software de simulação PVSyst. Para isso, foram realizadas simulações em três cenários distintos, com diferentes configurações de módulos, fatores de desempenho de instalação (FDI) e tipos de inversores.

1. Ferramenta de Simulação

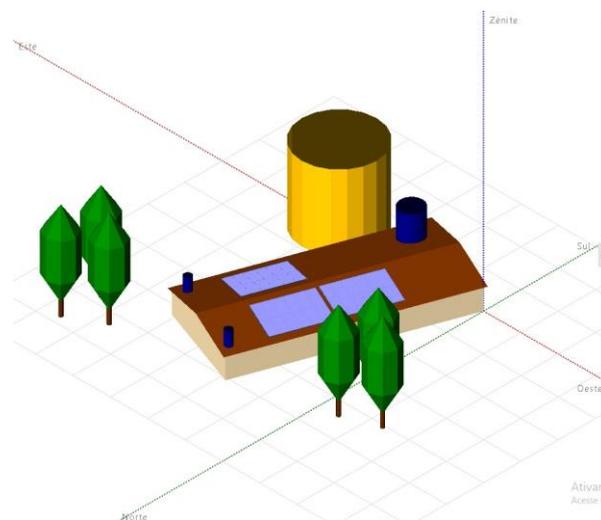
As simulações foram realizadas no software PVSYST, amplamente utilizado para análise de sistemas fotovoltaicos, permitindo a modelagem detalhada do desempenho energético considerando perdas por sombreamento, orientação, temperatura, e características específicas dos equipamentos.

2. Cenários de Instalação

Foram considerados três cenários distintos de instalação:

- **Caso 1 – Bloco E do IFPE Pesqueira:** Instalação com módulos posicionados de modo padrão, onde a simulação montada no software está presente na figura 5 e as características do local, como temperatura e radiação solar durante o ano inteiro, assim como, a longitude e latitude do local, estão presentes na tabela 1.

Figura 5: Caso 1 – Bloco E do IFPE Pesqueira – Simulação no PVSYST



Fonte: Autoria própria

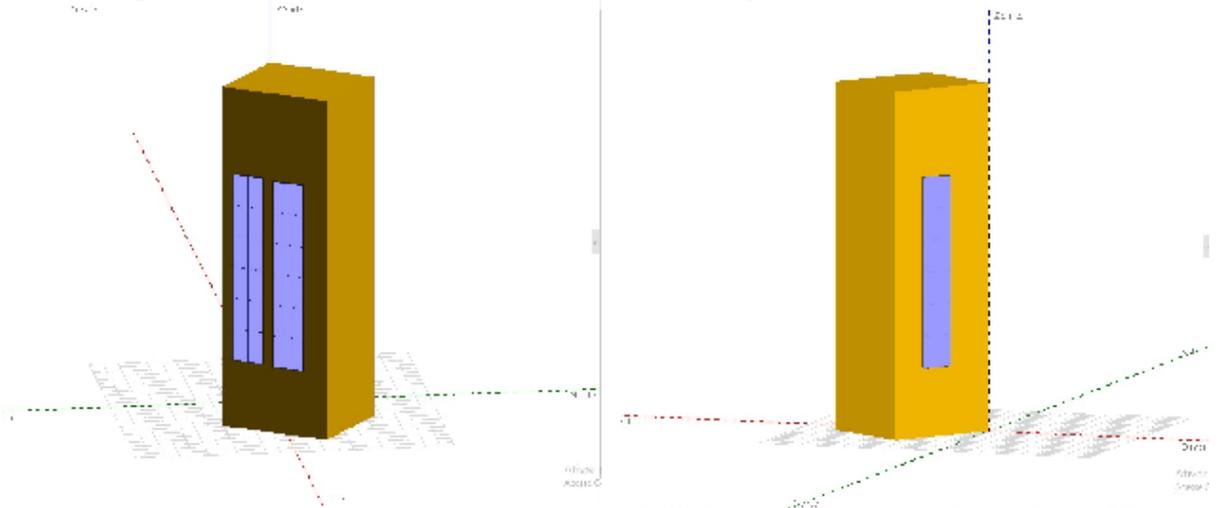
Tabela 1: Caso 1 – Bloco E do IFPE Pesqueira – Dados meteorológicos

PESQUEIRA		
Mês	Temperatura (°C)	Radiação Solar(kWh/m ²)
Janeiro	25.7	6,104
Fevereiro	25.9	5,922
Março	26.1	5,931
Abril	25.2	5,37
Maio	24.7	4,415
Junho	23.0	3,872
Julho	22.6	3,983
Agosto	22.8	4,761
Setembro	23.4	5,66
Outubro	24.8	6,036
Novembro	25.2	6,455
Dezembro	25.8	6,321
LOCALIZAÇÃO	-8,367054	-36,680895

Fonte: Autoria própria

- **Caso 2 – Posto de Tacaimbó:** Instalação com módulos posicionados na vertical. A configuração da simulação realizada no software pode ser visualizada na Figura 6, enquanto a Tabela 2 reúne as principais informações do local, incluindo dados climáticos anuais — como temperatura e radiação solar — além da latitude e longitude da região.

Figura 6: Caso 2 – Posto de Tacaimbó – Simulação no PVSYST



Fonte: Autoria própria

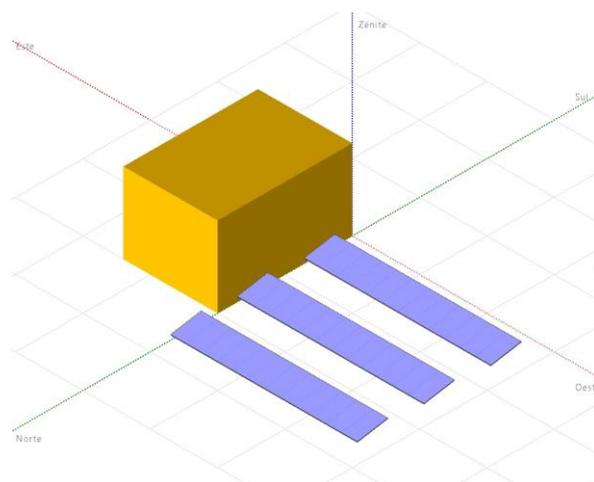
Tabela 2: Caso 2 – Posto de Tacaimbó – Dados meteorológicos

TACAIMBÓ		
Mês	Temperatura (°C)	Radiação Solar(kWh/m ²)
Janeiro	25.7	5,829
Fevereiro	25.9	5,671
Março	26.1	5,73
Abril	25.2	5,223
Maio	24.7	4,443
Junho	23.0	3,988
Julho	22.6	4,062
Agosto	22.9	4,794
Setembro	23.5	5,517
Outubro	24.8	5,8
Novembro	25.3	6,169
Dezembro	25.8	5,985
LOCALIZAÇÃO	-8,330717	-36,25593

Fonte: Autoria própria

- **Caso 3 – Usina de solo próxima a um galpão:** Simulação com possibilidade de sombreamento lateral parcial devido à estrutura do galpão. A Figura 7 ilustra a simulação desenvolvida no software, e a Tabela 3 apresenta os dados geográficos e climáticos do local, como latitude, longitude, temperatura média e níveis de radiação solar ao longo do ano. Além disso, temos as figuras 8 e 9 que mostram a situação real, ao qual foi usado com inspiração para esse trabalho.

Figura 7: Caso 3 – Usina de solo próxima a um galpão – Simulação no PVSYST



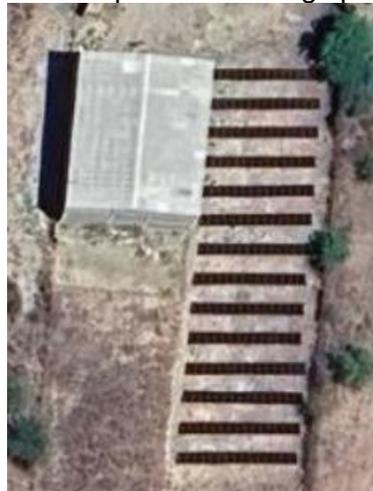
Fonte: Autoria própria

Figura 8: Caso 3 – Usina de solo próxima a um galpão – visão frontal



Fonte: Google Maps

Figura 9: Caso 3 – Usina de solo próxima a um galpão – visão superior



Fonte: Google Maps

Tabela 3: Caso 3 – Usina de solo próxima a um galpão – Dados meteorológicos

BEZERROS		
Mês	Temperatura (°C)	Radiação Solar(kWh/m²)
Janeiro	25.9	5,723
Fevereiro	26.1	5,731
Março	26.3	5,705
Abril	25.4	5,1
Maio	24.9	4,373
Junho	23.2	3,924
Julho	22.8	4,072
Agosto	23.0	4,734
Setembro	23.6	5,45
Outubro	24.9	5,764
Novembro	25.4	6,112
Dezembro	26.0	5,906
LOCALIZAÇÃO	-8,297188	-35,868884

Fonte: Autoria própria

Cada local apresenta condições distintas de irradiação, sombreamento e layout de instalação, impactando diretamente no desempenho dos inversores.

3. Tecnologias Comparadas

Foram comparadas quatro tecnologias de inversores:

- **Inversor central:** 1 MPPT - FRONIUS
- **Inversor string:** 4 MPPT's - GROWATT
- **Microinversores:** 4 MPPT's - DEYE
- **Inversores com otimizadores de potência:** TS4 700W - TIGO

4. Variação do Fator de Desempenho de Instalação (FDI)

Para simular diferentes graus de perdas causadas por mismatch, sombreamento, sujeira e desalinhamentos, foram considerados três valores para o FDI:

- **FDI = 1,33**
- **FDI = 1,00**
- **FDI = 0,67**

Cada combinação de inversor foi simulada com os três valores de FDI, para cada localização.

5. Módulos Utilizados

Duas configurações de módulos fotovoltaicos foram simuladas, representando diferentes gerações tecnológicas:

- **Módulo 1: Canadian Solar 550 Wp (monofacial)**
- **Módulo 2: Yingli Solar 255 Wp (policristalino)**

Ambos foram escolhidos por apresentarem características distintas de eficiência, tamanho e comportamento sob diferentes condições de sombreamento.

6. Definição da Potência do Sistema

Para fins de padronização e comparação entre os diferentes cenários, foi definido que, nas simulações com **FDI = 1**, o **tamanho do sistema fotovoltaico corresponde a 15 kWp**. Esse valor serviu como base para o dimensionamento do sistema em condições ideais, permitindo que as simulações com **FDI = 0,67** e **FDI = 1,33** fossem ajustadas proporcionalmente com as mesmas configurações de inversores e módulos, apenas variando as condições de desempenho da instalação.

7. Layouts Simulados

Com o intuito de padronizar ao máximo as simulações, foi elaborado um conjunto de layouts buscando manter a mesma potência instalada e configurações semelhantes entre os cenários. No entanto, devido às diferenças entre os tipos de módulos, inversores e fatores de desempenho da instalação (FDI), não foi possível,

em todos os casos, manter o mesmo número de módulos por string ou a mesma quantidade total de módulos no sistema. Como visto na tabela 4, 5 e 6.

Tabela 4: Layout utilizado com o inversor CENTRAL

FDI	P(CC)(kW)	N° MPPT	N° Entr./MPP T	N° Mód. 255W	N° Mód. 550W	Conf. 255W	Config. 550W
1,33	20	1	6	78	36	3 strings de 26 módulos	3 strings de 12 módulos
1	15	1	6	60	30	3 strings de 20 módulos	3 strings de 10 módulos
0,67	10	1	6	40	20	2 strings de 20 módulos	2 strings de 10 módulos

Fonte: Autoria própria

Tabela 5: Layout utilizado com o inversor STRING

FDI	P(CC)(kW)	N° MPPT	N° Entr./MPP T	N° Mód. 255W	N° Mód. 550W	Conf. 255W	Config. 550W
1,33	20	4	2	80	36	4 strings de 20módulos	4 strings de 9 módulos
1	15	4	2	60	32	4 strings de 15 módulos	4 strings de 8 módulos
0,67	10	4	2	40	24	4 strings de 10 módulos	4 strings de 6 módulos

Fonte: Autoria própria

Tabela 6: Layout utilizado com o MICROINVERSOR

FDI	P(CC)(kW)	N° MPPT	N° Entr./MPP T	N° Mód. 255W	N° Mód. 550W	Conf. 255W	Config. 550W
1,33	20	4	1	84	36	7 inversores (cada entrada com 3 módulos em paralelo)	9 inversores e cada um com 4 módulos
1	15	4	1	60	30	5 inversores (cada entrada com 3 módulos em paralelo)	7 inversores e cada um com 4 módulos
0,67	10	4	1	36	20	3 inversores (cada entrada com 3 módulos em paralelo)	5 inversores e cada um com 4 módulos

Fonte: Autoria própria

8. Análise dos Resultados

Os resultados das simulações foram comparados com base nos seguintes indicadores:

- **Produção de energia**
- **Performance Ratio (PR)**
- **Perdas do inversor**

Esses indicadores foram analisados para entender o comportamento de cada tecnologia frente a diferentes condições de sombreamento, layout e mismatch, permitindo identificar qual tipo de inversor apresenta melhor desempenho técnico em cada situação específica.

RESULTADO E ANÁLISE

Conforme descrito na Metodologia, os parâmetros adotados para comparação entre os diferentes cenários foram:

- Energia gerada (kWh);
- Perdas no inversor (%);
- Performance Ratio (PR).

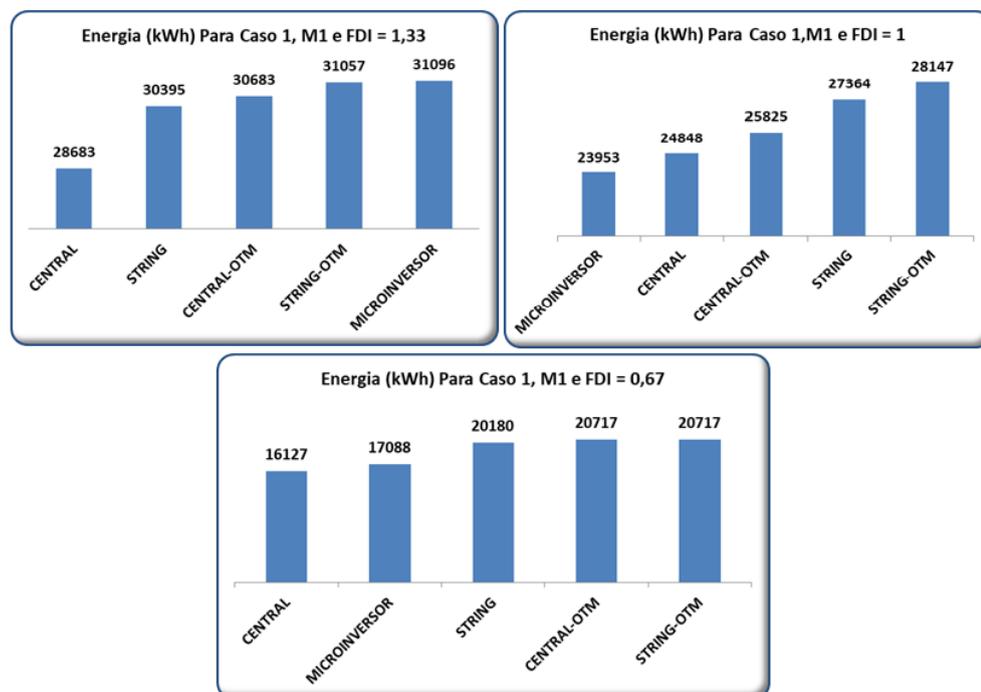
1 CASO 1 – Energia (kWh)

1.1 Comparação da Energia Gerada (kWh)

Nesta seção, são analisados os resultados de energia gerada (kWh) nas simulações realizadas com o módulo de 550 W e 255W, considerando as variações do Fator de Desempenho da Instalação (FDI = 0,67; 1,00; 1,33). O objetivo é verificar o impacto direto das condições de instalação no desempenho energético de cada tipo de inversor.

1.1.1– Módulo 550 W

Gráfico1: Energia (kWh) para Caso 1, Módulo 1



Fonte: Autoria Própria

No **Caso 1**, utilizando o **Módulo 1 (550 W)**, os resultados demonstram que:

- Para um **FDI elevado (1,33)**, o **microinversor** apresentou a **maior geração de energia**, sendo, portanto, a melhor opção neste cenário específico.
- No entanto, o **inversor string com otimizadores** apresentou desempenho muito próximo, com uma diferença de apenas **0,12%**, o que indica **desempenhos praticamente equivalentes** entre essas duas tecnologias em condições ideais.

À medida que o FDI diminui (ou seja, o sistema está mais sujeito a perdas por sombreamento, sujeira ou desalinhamento), o desempenho dos microinversores e dos inversores centrais é significativamente afetado. Nesses casos:

- Com **FDI = 1,00**, o **inversor string com otimizadores** se destaca como a melhor opção, enquanto o **microinversor** apresentou o pior desempenho, com uma diferença de **15%** em relação ao melhor cenário.
- Com **FDI = 0,67**, o **inversor central** foi a pior escolha, apresentando um desempenho **22% inferior** ao inversor string com otimizadores, que novamente foi o mais eficiente.

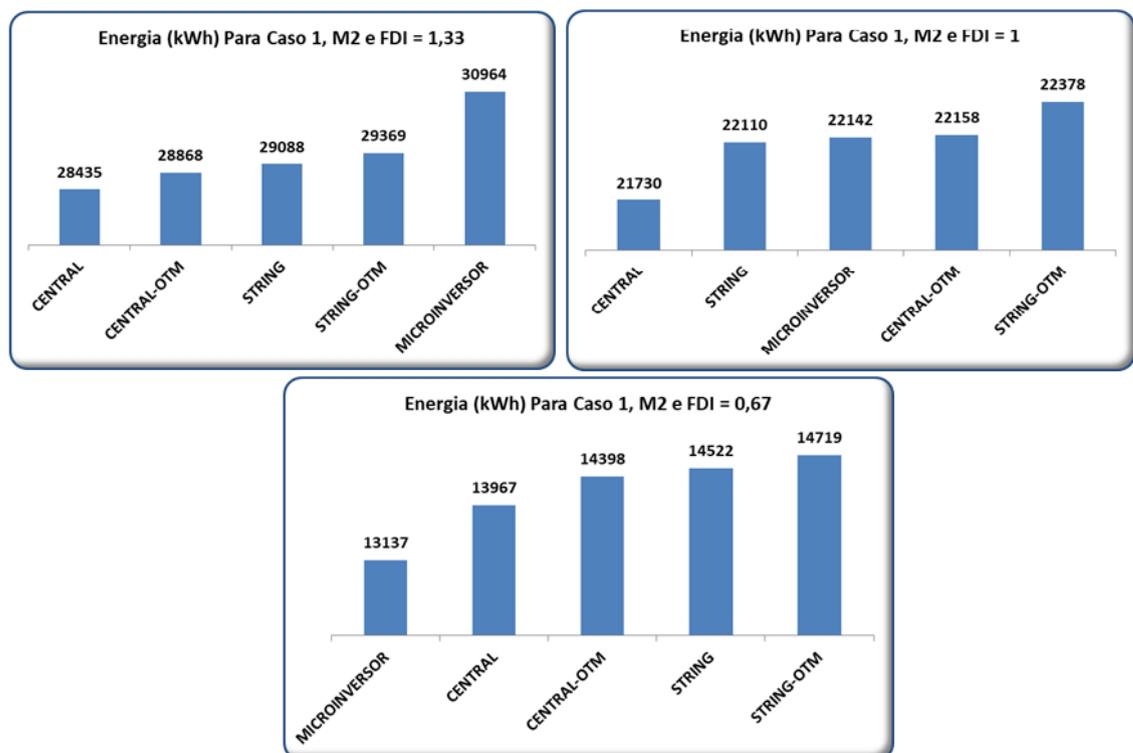
De modo geral, o inversor central mostrou-se como a tecnologia com menor adaptabilidade, figurando como a pior ou segunda pior opção em todos os cenários analisados com o Módulo 1. Já o inversor string com otimizadores demonstrou melhor desempenho técnico de forma consistente, especialmente em cenários com maior nível de perdas (FDI baixos).

Conclusão do Caso 1 – Módulo 1

Conclui-se, portanto, que o **inversor string com otimizadores é a melhor escolha para o Caso 1 com o Módulo 1**, apresentando alto desempenho tanto em condições ideais quanto em cenários críticos. Por outro lado, o **inversor central se mostrou a opção menos eficiente**, com perda significativa de desempenho principalmente em ambientes com sombreamento ou desuniformidade entre os módulos.

1.1.2– Módulo 255 W

Gráfico 2: Energia (kWh) para Caso 1, Módulo 2



Fonte: Autoria Própria

No **Caso 1**, utilizando o **Módulo 2 (255 W)**, os resultados indicam que:

- Para um **FDI elevado (1,33)**, a **melhor escolha** é o **microinversor**, que apresentou a maior geração de energia. A **pior opção** nesse cenário foi o **inversor central**, com uma diferença de aproximadamente **8% a menos** em relação ao microinversor.
- A **segunda melhor alternativa** foi o **inversor string com otimizadores**, com uma diferença de **5,15% abaixo** do microinversor.

Para **FDI = 1,00**, o desempenho muda:

- A **melhor opção** passa a ser o **inversor string com otimizadores**.
- A **pior escolha** continua sendo o **inversor central**, com uma diferença de **2,89%** em relação ao melhor desempenho.

Com **FDI = 0,67**, as perdas são mais acentuadas, e o comportamento dos inversores muda novamente:

- O **inversor string com otimizadores** continua sendo a **melhor escolha**, apresentando melhor desempenho mesmo em condições adversas.
- O **microinversor**, neste caso, passa a ser a **pior alternativa**, com uma diferença de quase **11%** em relação ao melhor resultado.
- O **inversor central** figura como a **segunda pior opção**, com uma diferença de **6%** em relação ao microinversor.

Conclusão do Caso 1 – Módulo 2

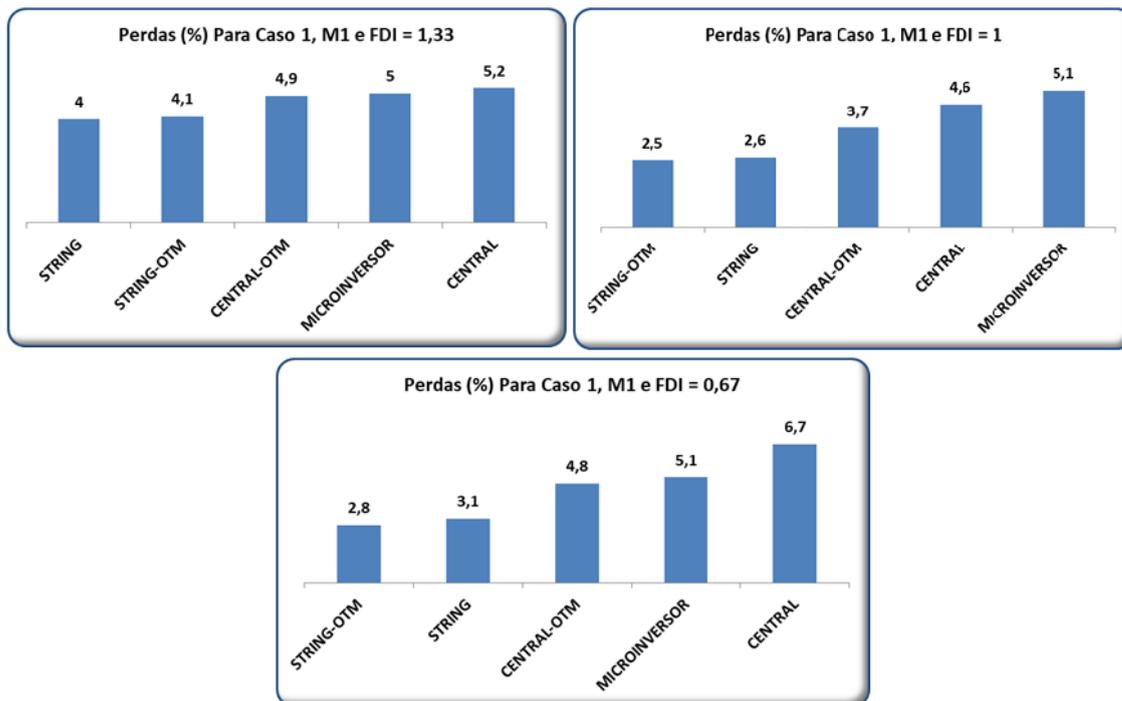
Diante dos resultados, conclui-se que o **inversor string com otimizadores** é a tecnologia mais eficiente e consistente para o **Caso 1 com o Módulo 2 (255 W)**, apresentando o melhor desempenho em condições médias e severas de perdas (FDI = 1,00 e 0,67) e mantendo desempenho competitivo mesmo em condições ideais (FDI = 1,33).

1.2 Comparação das Perdas no inversor (%)

Nesta seção, são analisados os resultados das perdas no inversor nas simulações realizadas com o módulo de 550 W e 255W, considerando as variações do Fator de Desempenho da Instalação (FDI = 0,67; 1,00; 1,33). O objetivo é verificar o impacto direto das condições de instalação nas perdas de cada tipo de inversor.

1.2.1– Módulo 550 W

Gráfico 3: Perdas no Inversor para Caso 1, Módulo 1



Fonte: Autoria Própria

Ao analisar as **perdas nos inversores** para o **Caso 1**, considerando diferentes valores de FDI, é possível observar os seguintes comportamentos:

FDI = 1,33

- O **inversor string** apresentou a **menor perda**, com **4,0%**.
- Em seguida, o **inversor string com otimizadores** teve **4,1% de perdas**, demonstrando uma diferença **insignificante** entre ambos.
- O **inversor central** foi o que apresentou a **maior perda**, com **5,2%**, seguido pelo **microinversor**, com **5,0%**.

FDI = 1

- O **inversor string com otimizadores** foi a **melhor opção**, com apenas **2,5% de perdas**.
- O **microinversor** apresentou a **maior perda**, com **5,1%**, sendo seguido pelo **inversor central**, com **4,6%**.

FDI = 0,67

- Novamente, o **string com otimizadores** apresentou o **melhor desempenho**, com **2,3% de perdas**.
- O **microinversor** manteve perdas elevadas, com **5,1%**, sendo a **segunda pior opção**.
- O **inversor central** apresentou o **pior desempenho**, com **6,7% de perdas**, sendo o menos eficiente nesse cenário.

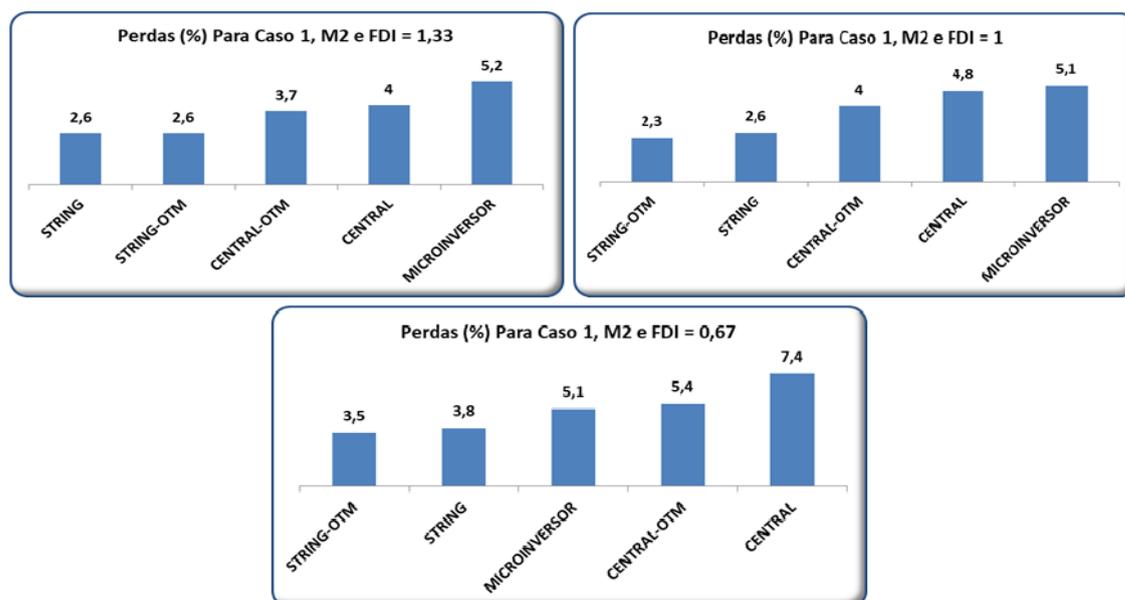
Conclusão sobre as Perdas nos Inversores – Caso 1 – Módulo 1

Com base nos dados analisados, conclui-se que o **inversor string com otimizadores** é a **melhor escolha** para esta configuração de **localização e módulo**, apresentando as **menores perdas em todos os níveis de FDI**.

Já o **inversor central** e o **microinversor** mostraram desempenho inferior em termos de perdas internas, sendo **as opções menos recomendadas**, especialmente em condições de sombreamento ou instalação com perdas elevadas.

1.2.2– Módulo 255 W

Gráfico 4: Perdas no Inversor para Caso 1, Módulo 2



Fonte: Autoria Própria

Para esta configuração (Caso 1), ao considerar as perdas nos inversores em diferentes condições de FDI, observam-se os seguintes resultados:

FDI = 1,33

- Os **inversores string** e **string com otimizadores** apresentaram as **menores perdas**, ambas em torno de **2,3%**.
- A **maior perda** foi registrada pelo **microinversor**, com **5,2%**.

FDI = 1,00

- O **inversor string com otimizadores** manteve o melhor desempenho, com **2,3% de perdas**, seguido de perto pelo **inversor string**, com **2,6%**.
- A **pior opção** neste cenário foi o **microinversor**, com **5,1% de perdas**.

FDI = 0,67

- O **inversor string com otimizadores** novamente obteve o **melhor resultado**, com **3,5% de perdas**.

- Em seguida, o **inversor string** apresentou **3,8% de perdas**.
- O **inversor central** foi o **menos eficiente**, com **7,4% de perdas**, sendo a **pior escolha** para este cenário.

Conclusão sobre as Perdas – Caso 1 – Módulo 2

Com base na análise dos três cenários de FDI, conclui-se que:

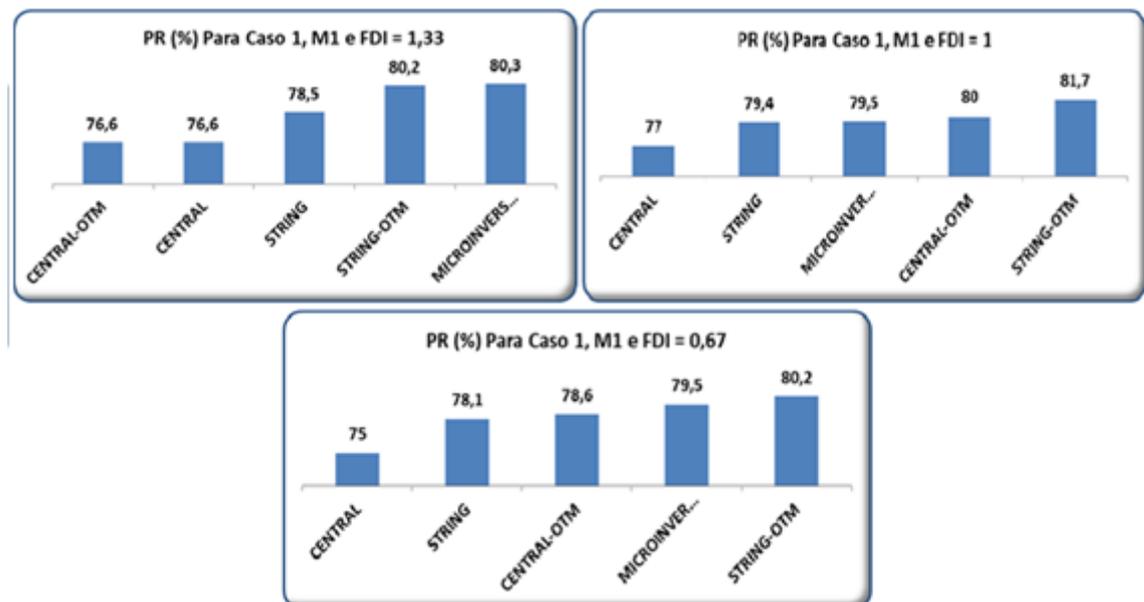
- A **melhor opção** para esta configuração é o **inversor string com otimizadores**, por apresentar as **menores perdas em todas as condições analisadas**.
- Em segundo lugar, o **inversor string** também se mostra eficiente, com perdas próximas e desempenho consistente.
- As **piores alternativas** são o **microinversor** e o **inversor central**, que apresentam **maiores perdas**, especialmente em cenários críticos.

1.3 Performance Ratio (%)

Nesta seção, são analisados os PR's nas simulações realizadas com os módulos de 550 W e 255 W, considerando as variações do Fator de Desempenho da Instalação (FDI = 0,67; 1,00; 1,33). O objetivo é verificar o impacto direto das condições de instalação nas perdas de cada tipo de inversor.

1.3.1– Módulo 550 W

Gráfico 5: PR para Caso 1, Módulo 1



Fonte: Autoria Própria

Ao comparar o PR (Performance Ratio) entre os diferentes inversores em três condições de FDI, temos os seguintes resultados:

FDI = 1,33

- A **melhor opção** foi o **microinversor**, com PR de **80,3%**.

- Em seguida, o **inversor string com otimizadores** apresentou um PR de **80,2%**, praticamente equivalente.
- A **pior performance** ficou com o **inversor central**, tanto com quanto sem otimizadores, ambos com PR de **76,6%**.

FDI = 1,00

- O **inversor string com otimizadores** foi o mais eficiente, com PR de **81,7%**.
- Em segundo lugar, o **inversor central com otimizadores** obteve **80,0%**.
- A **pior opção** foi o **inversor central sem otimizadores**, com PR de apenas **77,0%**.

FDI = 0,67

- O **melhor desempenho** novamente foi do **inversor string com otimizadores**, com PR de **80,2%**.
- A **pior performance** foi do **inversor central**, que teve um PR de apenas **75,0%**.

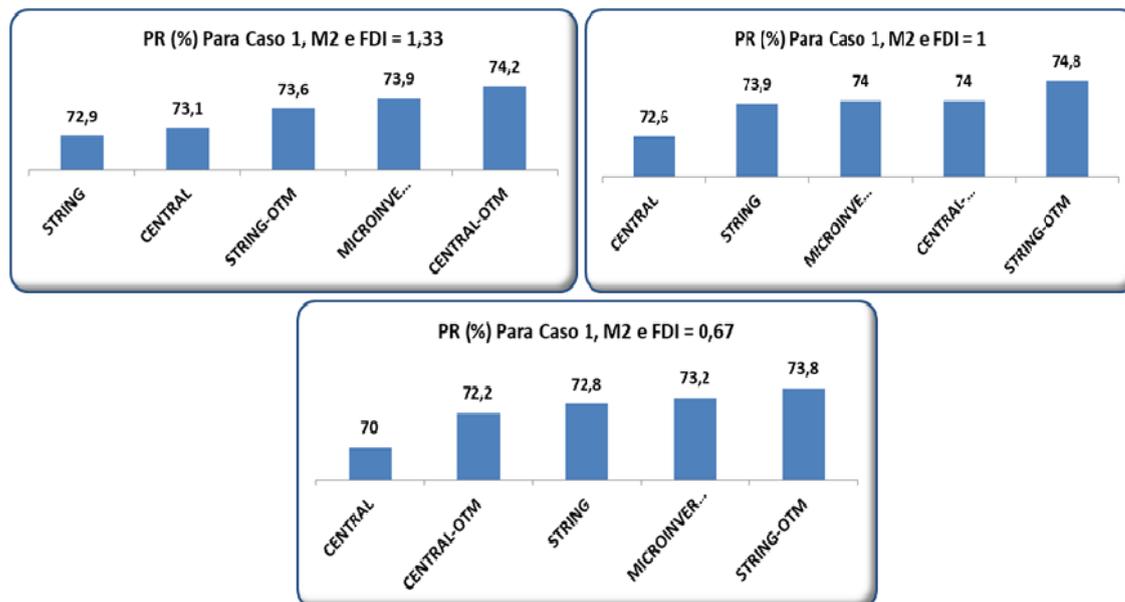
Conclusão sobre o PR – Caso 1 – Módulo 1

Com base nos resultados obtidos:

- O **inversor string com otimizadores** apresentou o **melhor desempenho geral** em termos de PR, especialmente em condições de perdas (FDI mais baixos).
- Já o **inversor central** foi a **pior opção**, com os **menores valores de PR** em todos os cenários analisados.

1.3.2– Módulo 255 W

Gráfico 6: PR para Caso 1, Módulo 2



Fonte: Autoria Própria

Nesta configuração, a análise do PR (Performance Ratio) em diferentes condições de FDI revela os seguintes resultados:

FDI = 1,33 (condição ideal)

- A **melhor opção** foi o **inversor central com otimizadores**, com PR de **74,2%**.
- A **pior performance** foi do **inversor string**, com PR de **72,9%**.

FDI = 1,00 (condição intermediária)

- O **inversor string com otimizadores** apresentou o **melhor desempenho**, com PR de **74,8%**.
- A **pior opção** neste caso foi o **inversor central sem otimizadores**, com PR de **72,6%**.

FDI = 0,67 (condição crítica)

- O **melhor resultado** continua sendo do **inversor string com otimizadores**, com PR de **73,8%**.
- A **pior performance** foi novamente do **inversor central**, com PR de **70,0%**.

Conclusão sobre o PR – Caso 1 – Módulo 2

- Para **FDI mais altos (1,33)**, a **melhor escolha** é o **inversor central com otimizadores**, enquanto o **inversor string** é o menos eficiente.
- Para **FDI intermediários e baixos (1,00 e 0,67)**, o **inversor string com otimizadores** apresenta o **melhor desempenho**, sendo a opção mais indicada.

- O **inversor central sem otimizadores** se destaca negativamente, sendo o que apresenta o **pior PR nas condições mais críticas**.

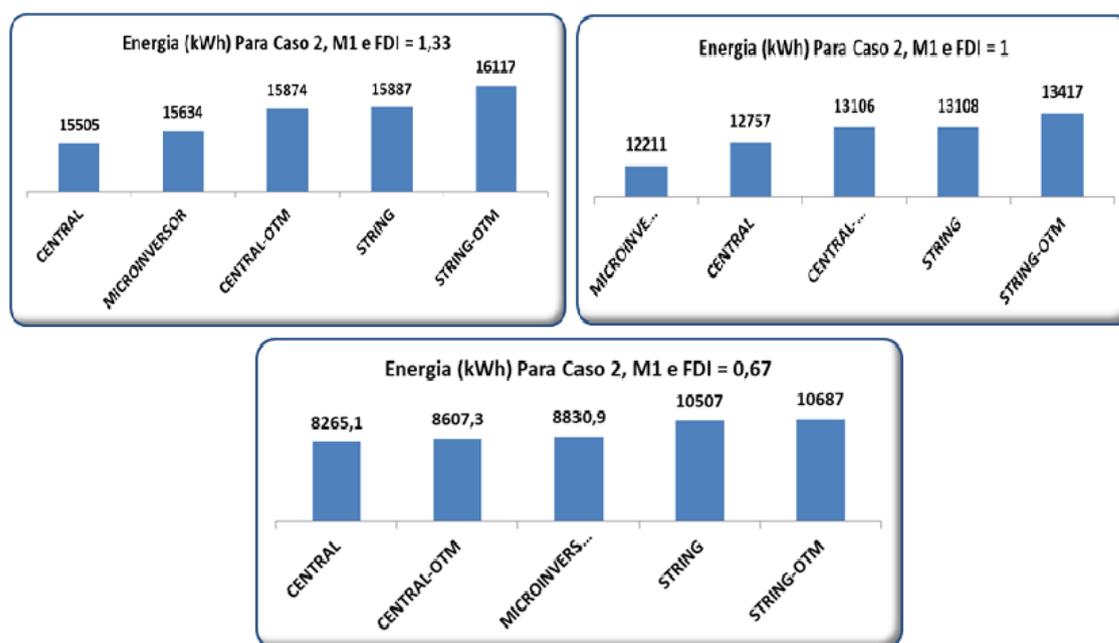
2 CASO 2 – Energia (kWh)

2.1 Comparação da Energia Gerada

Nesta seção, são analisados os resultados de energia gerada (kWh) nas simulações realizadas com o módulo de 550 W e 255W, considerando as variações do Fator de Desempenho da Instalação (FDI = 0,67; 1,00; 1,33). O objetivo é verificar o impacto direto das condições de instalação no desempenho energético de cada tipo de inversor.

2.1.1– Módulo 550 W

Gráfico 7: Energia (kWh) para Caso 2, Módulo 1



Fonte: Autoria Própria

Para esta configuração, utilizando o **módulo 1**, observamos que, **em todos os cenários de FDI analisados**, o **inversor string com otimizador** apresentou o **melhor desempenho em termos de energia gerada**. A **segunda melhor opção**, de forma consistente, foi o **inversor string sem otimizador**.

Por outro lado, as **piores escolhas** variaram entre o **inversor central** e o **microinversor**, dependendo do FDI:

FDI = 1,33

- **Melhor opção:** Inversor string com otimizador – **16.117 kWh**
- **Pior opção:** Inversor central – **15.505 kWh**

FDI = 1,00

- **Melhor opção:** Inversor string com otimizador – **13.417 kWh**
- **Pior opção:** Microinversor – **12.211 kWh**, seguido pelo inversor central – **12.757 kWh**

FDI = 0,67

- **Melhor opção:** Inversor string com otimizador – **10.687 kWh**
- **Pior opção:** Inversor central – **8.265,1 kWh**

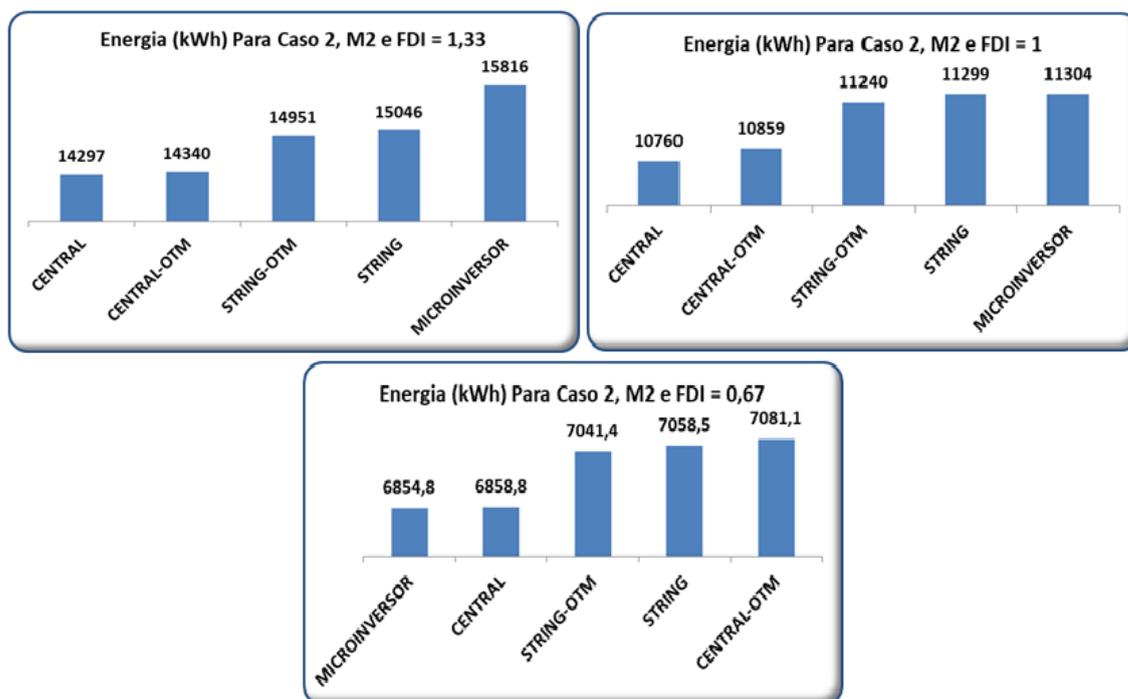
Conclusão sobre a energia (kWh) – Caso 1 – Módulo 1

Diante desses resultados, concluímos que, para esta configuração com o módulo 1:

- O **inversor string com otimizador** é a **melhor escolha** em todos os cenários.
- O **inversor central**, por sua vez, se mostrou a **pior opção**, principalmente em condições de FDI mais baixos.

2.1.2– Módulo 255W

Gráfico 8: Energia (kWh) para Caso 2, Módulo 2



Fonte: Autoria Própria

Para esta configuração, utilizando o módulo 2, observamos que o desempenho dos inversores varia conforme o FDI. Nos cenários com FDI mais altos, de 1,33 e 1, a melhor opção é o microinversor, seguido de perto pelo inversor string. A diferença entre eles, no entanto, diminui significativamente de um FDI para o outro: enquanto no FDI de 1,33 o microinversor apresenta uma vantagem de 4,8%, no FDI de 1 essa

diferença é praticamente nula, de apenas 0,04%. Já os piores desempenhos nesses dois casos ficam por conta do inversor central, seguido pelo inversor central com otimizador.

Quando o FDI cai para 0,67, a situação se inverte. O microinversor, que antes era a melhor escolha, passa a ser a pior, enquanto o inversor central com otimizador se torna a melhor opção. Ainda assim, o inversor string continua se destacando, mantendo-se como a segunda melhor opção, com uma diferença pequena de apenas 0,3% em relação ao melhor desempenho.

Conclusão sobre a energia (kWh) – Caso 1 – Módulo 2

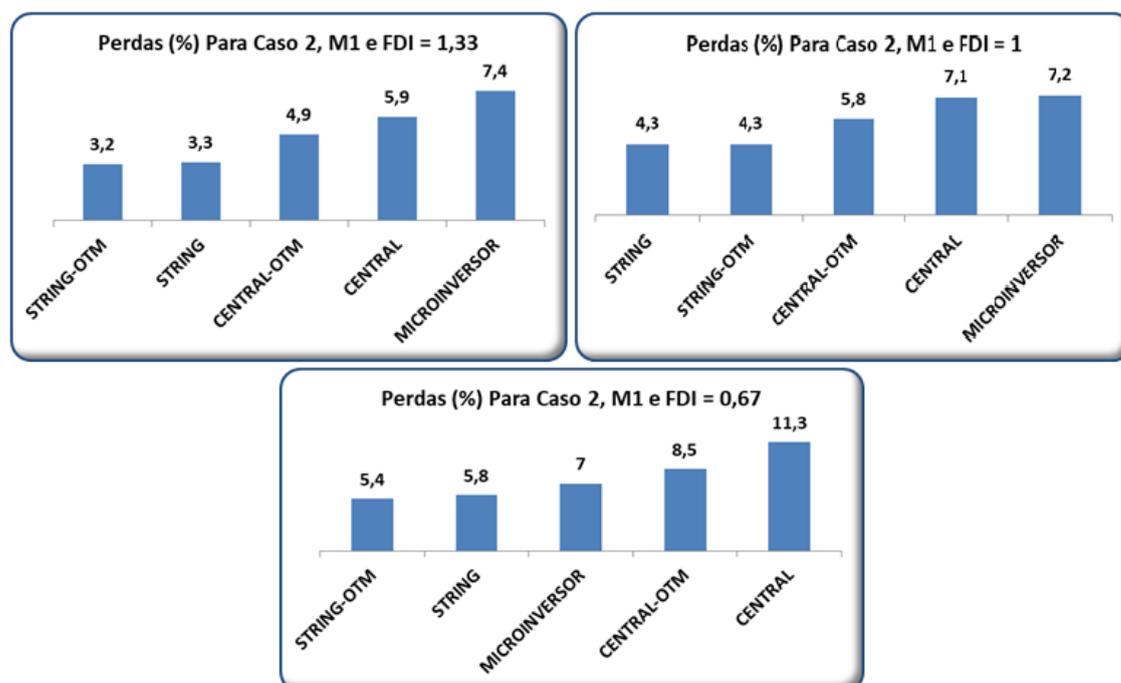
Dessa forma, podemos concluir que o inversor string se mostra a opção mais equilibrada e consistente, sendo uma boa escolha tanto para FDI intermediário (1) quanto para FDI mais baixo (0,67), enquanto o microinversor se destaca apenas em condições de FDI alto (1,33). Já o inversor central, com ou sem otimizador, apresenta os piores desempenhos na maior parte dos cenários analisados.

2.2 Comparação das Perdas no inversor (%)

Nesta seção, são analisados os resultados das perdas no inversor nas simulações realizadas com o módulo de 550 W e 255W, considerando as variações do Fator de Desempenho da Instalação (FDI = 0,67; 1,00; 1,33). O objetivo é verificar o impacto direto das condições de instalação nas perdas de cada tipo de inversor.

2.2.1.– Módulo 550 W

Gráfico 9: Perdas no inversor (%) para Caso 2, Módulo 1



Fonte: Autoria Própria

Comparando as perdas nos inversores, podemos destacar:

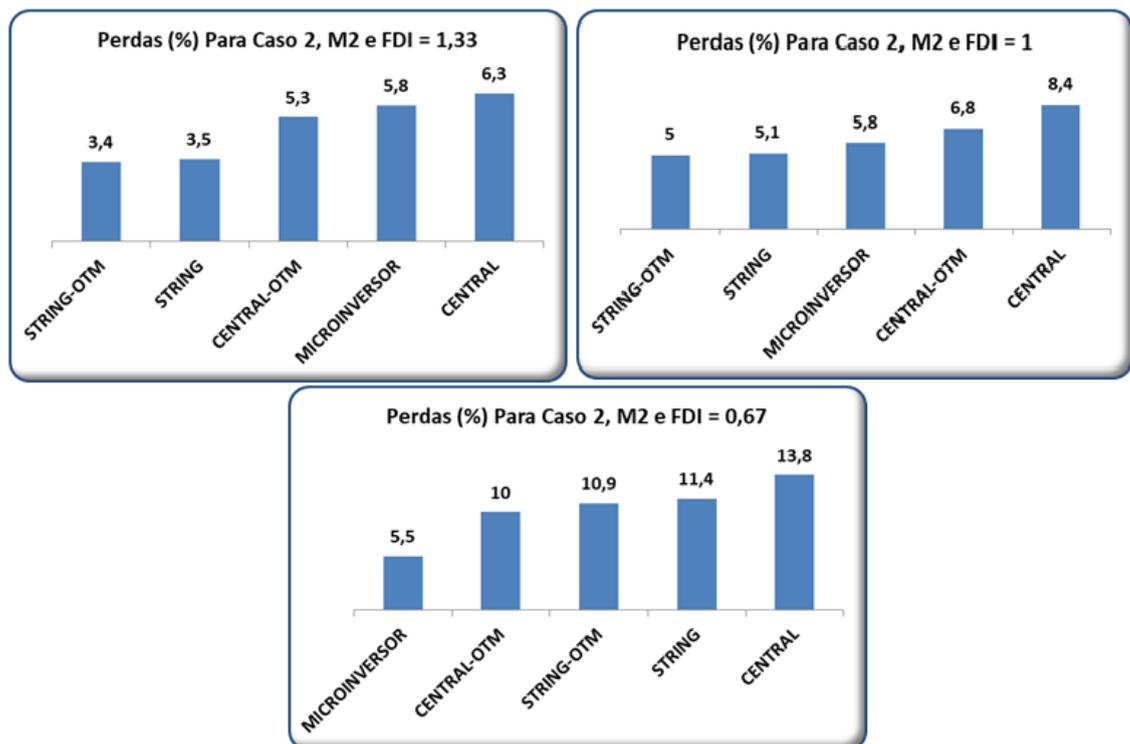
- A **melhor opção em todos os FDIs** é o **inversor string com otimizador**, apresentando as menores perdas em todas as simulações. Ele é seguido pelo **inversor string sem otimizador**, com uma diferença máxima de apenas **0,4%** (observada no FDI de 0,67).
- A **pior opção varia conforme o FDI**:
 - Para **FDI de 1,33** e **FDI de 1**, o **microinversor** apresenta as maiores perdas, com **7,4%** e **7,2%**, respectivamente.
 - Para **FDI de 0,67**, o **inversor central** se torna a pior escolha, atingindo perdas de **11,3%**.

Conclusão sobre as perdas nos inversores (%) – Caso 1 – Módulo 1

O inversor string com otimizador é a melhor alternativa para todos os cenários analisados. A escolha menos eficiente depende do FDI: o microinversor é a pior opção em FDIs altos, enquanto o inversor central apresenta pior desempenho em FDIs baixos.

2.2.2– Módulo 255 W

Gráfico 10: Perdas no inversor (%) para Caso 2, Módulo 2



Fonte: Autoria Própria

Para as configurações com o módulo 2, observamos os seguintes resultados quanto às perdas no inversor:

- Para **FDI de 1,33** e **FDI de 1**, a **melhor opção** é o **inversor string com otimizador**, seguido de perto pelo **string sem otimizador**, com uma diferença de apenas **0,1%** entre eles. A **pior opção** em ambos os casos é o **inversor central**, com perdas de **6,3%** (FDI 1,33) e **8,4%** (FDI 1).

- Para FDI de 0,67, o desempenho muda: a **melhor opção** passa a ser o **microinversor**, com perdas de **5,5%**. A **pior opção** continua sendo o **inversor central**, agora com perdas mais elevadas, de **13,8%**.

Conclusão sobre as perdas nos inversores (%) – Caso 1 – Módulo 2

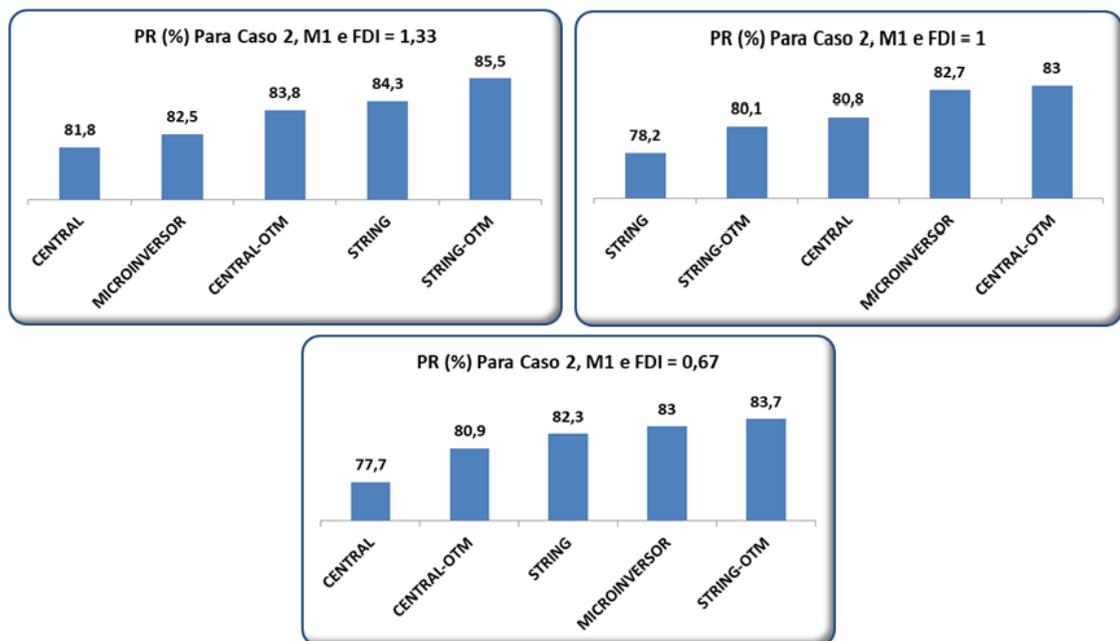
Ao considerar apenas as perdas no inversor, a **melhor opção geral para essa configuração** ainda é o **inversor string com otimizador**, especialmente para FDIs de 1 e 1,33. Já o **inversor central** se mantém como a **pior escolha**, independentemente do FDI analisado.

2.3 Performance Ratio (%)

Nesta seção, são analisados os PR's nas simulações realizadas com os módulos de 550 W e 255 W, considerando as variações do Fator de Desempenho da Instalação (FDI = 0,67; 1,00; 1,33). O objetivo é verificar o impacto direto das condições de instalação nas perdas de cada tipo de inversor.

2.3.1– Módulo 550 W

Gráfico 11: PR (%) para Caso 2, Módulo 1



Fonte: Autoria Própria

Para essa configuração, a escolha do melhor inversor varia conforme o FDI adotado:

- Para FDI de 1,33 e FDI de 0,67, a **melhor opção** é o **inversor string com otimizador**, com um PR de **85,5%** e **83,7%**, respectivamente.
- Já para FDI de 1, o **melhor desempenho** é obtido com o **inversor central com otimizador**, que apresenta um PR de **83%**.

Quanto às **piores opções**:

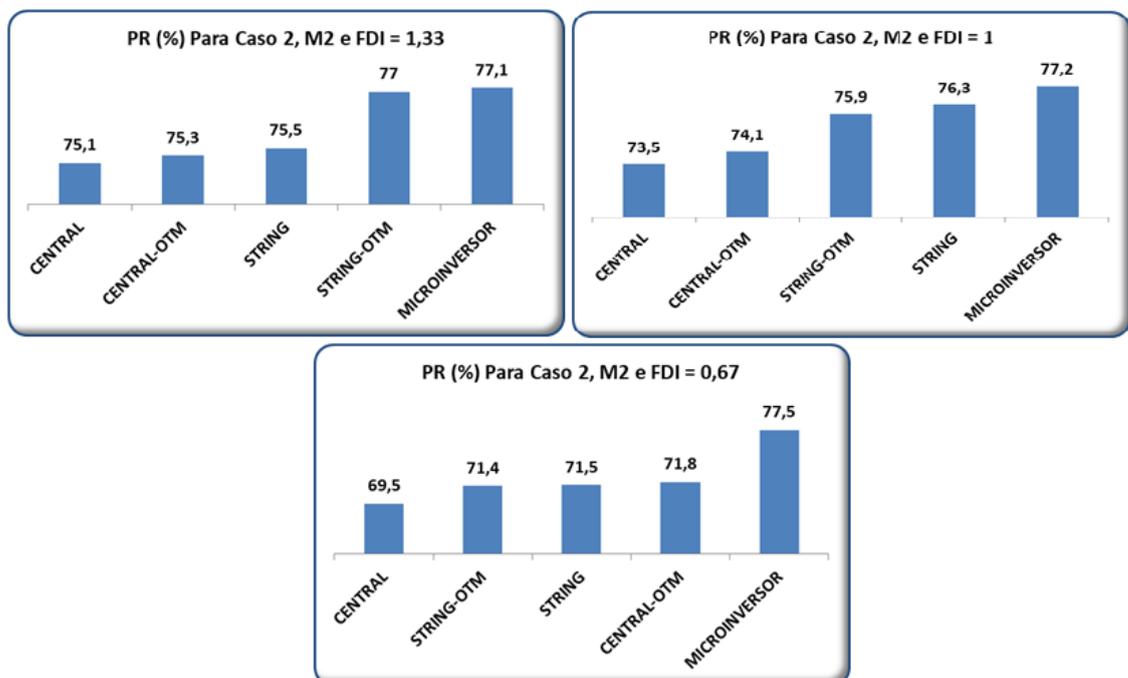
- O **inversor central** apresenta os **piores resultados** nos FDIs de **1,33** e **0,67**, com PRs de **81,8%** e **77,7%**, respectivamente.
- Para **FDI de 1**, o **inversor string sem otimizador** é o menos eficiente, com PR de **78,2%**.

Conclusão sobre o PR (%) – Caso 1 – Módulo 1

A escolha do melhor ou pior inversor para essa configuração **depende diretamente do FDI considerado**, destacando a importância de avaliar o projeto conforme as condições reais de sombreamento e dimensionamento.

2.3.2– Módulo 255 W

Gráfico 12: PR (%) para Caso 2, Módulo 2



Fonte: Autoria Própria

Para esta configuração com o módulo 2, **observamos que, independentemente do FDI adotado, o inversor central apresenta o pior desempenho, com os seguintes valores de PR:**

- **FDI 1,33:** 75,1%
- **FDI 1,00:** 73,5%
- **FDI 0,67:** 69,5%

Por outro lado, a **melhor opção em todos os casos** é o **microinversor**, com os seguintes valores de PR:

- **FDI 1,33:** 77,1%
- **FDI 1,00:** 77,2%
- **FDI 0,67:** 77,5%

Conclusão sobre o PR (%) – Caso 1 – Módulo 2

O microinversor se destaca como a melhor alternativa para esta configuração com o módulo 2, apresentando os maiores valores de PR em todos os níveis de FDI. Já o inversor central tem o pior desempenho em todos os cenários analisados.

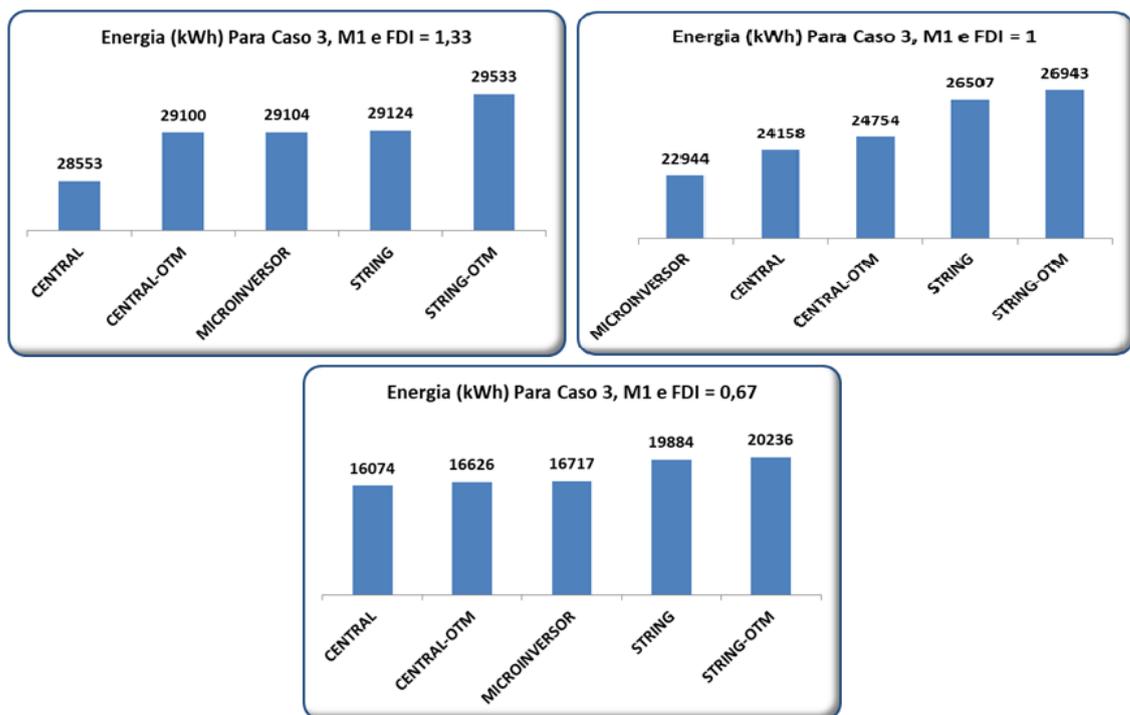
3 CASO 3 – Energia (kWh)

3.1 Comparação da Energia Gerada

Nesta seção, são analisados os resultados de energia gerada (kWh) nas simulações realizadas com o módulo de 550 W e 255W, considerando as variações do Fator de Desempenho da Instalação (FDI = 0,67; 1,00; 1,33). O objetivo é verificar o impacto direto das condições de instalação no desempenho energético de cada tipo de inversor.

3.1.1– Módulo 550 W

Gráfico 13: Energia (kWh) para Caso 3, Módulo 1



Fonte: Autoria Própria

Para esta configuração, observamos que, nos três cenários analisados — com FDI de 1,33, 1 e 0,67 —, o **inversor string com otimizador** apresenta o **melhor desempenho**, seguido pelo **inversor string sem otimizador**. A diferença de desempenho (PR) entre eles é de:

- **1,38%** para FDI = 1,33
- **1,61%** para FDI = 1
- **1,73%** para FDI = 0,67

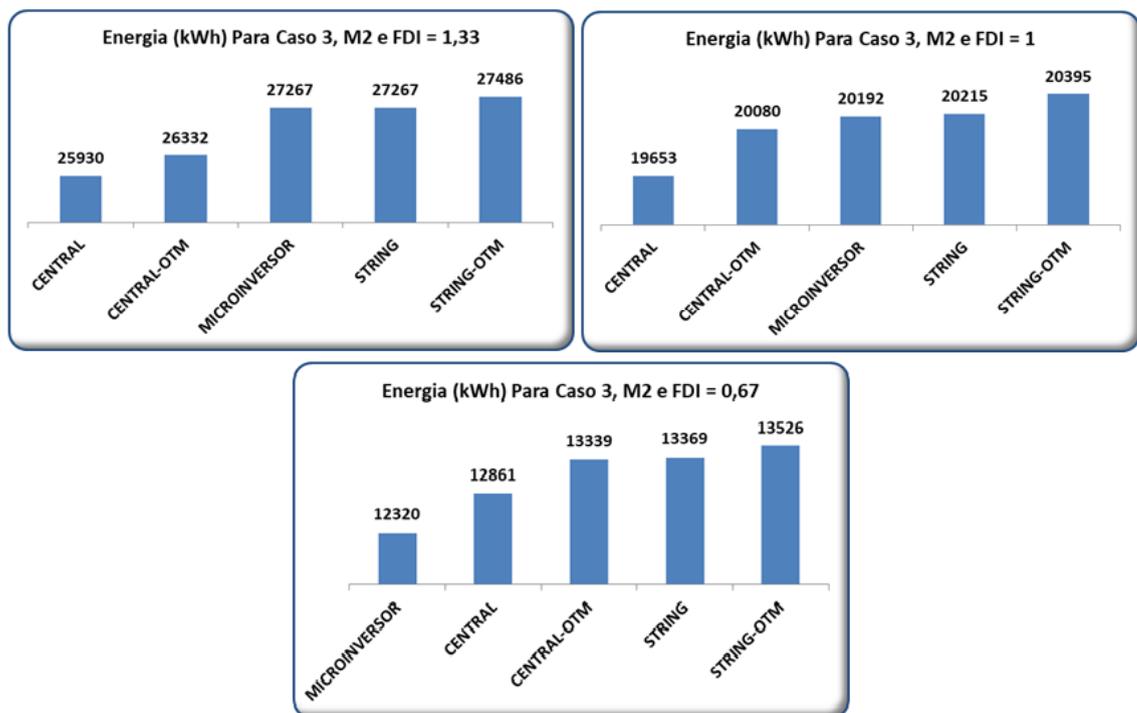
Quanto à **pior opção**, ela **varia conforme o FDI**:

- Para **FDI = 1,33** e **FDI = 0,67**, o **inversor central** apresenta o pior desempenho.
- Já para **FDI = 1**, o **microinversor** é a pior escolha, seguido pelo inversor central. Vale destacar que, nesse caso, há uma diferença de aproximadamente **5% entre o microinversor e o inversor central**, o que evidencia um desempenho significativamente inferior.

Conclusão sobre a energia (kWh) – Caso 1 – Módulo 1
O inversor string com otimizador é consistentemente a melhor opção para essa configuração, independentemente do FDI. A pior escolha dependerá do FDI, mas o inversor central se destaca negativamente na maioria dos casos.

3.1.2 – Módulo 255W

Gráfico 14: Energia (kWh) para Caso 3, Módulo 2



Fonte: Autoria Própria

Nesta situação, observa-se que, para todos os valores de FDI analisados, a **melhor escolha de inversor** é o **string com otimizador**, seguido pelo **inversor string sem otimizador**.

A **pior escolha**, no entanto, varia conforme o FDI:

- Para **FDI mais altos** (1,33 e 1), o **inversor central** apresenta o pior desempenho, com diferença de **5,6%** e **3,63%**, respectivamente, em relação ao melhor inversor.
- Já para **FDI mais baixo** (0,67), o **microinversor** torna-se a pior opção, seguido pelo inversor central, com uma diferença de **4,2%** entre eles e **8,9%** em relação ao inversor string com otimizador.

Conclusão sobre a energia (kWh) – Caso 1 – Módulo 2

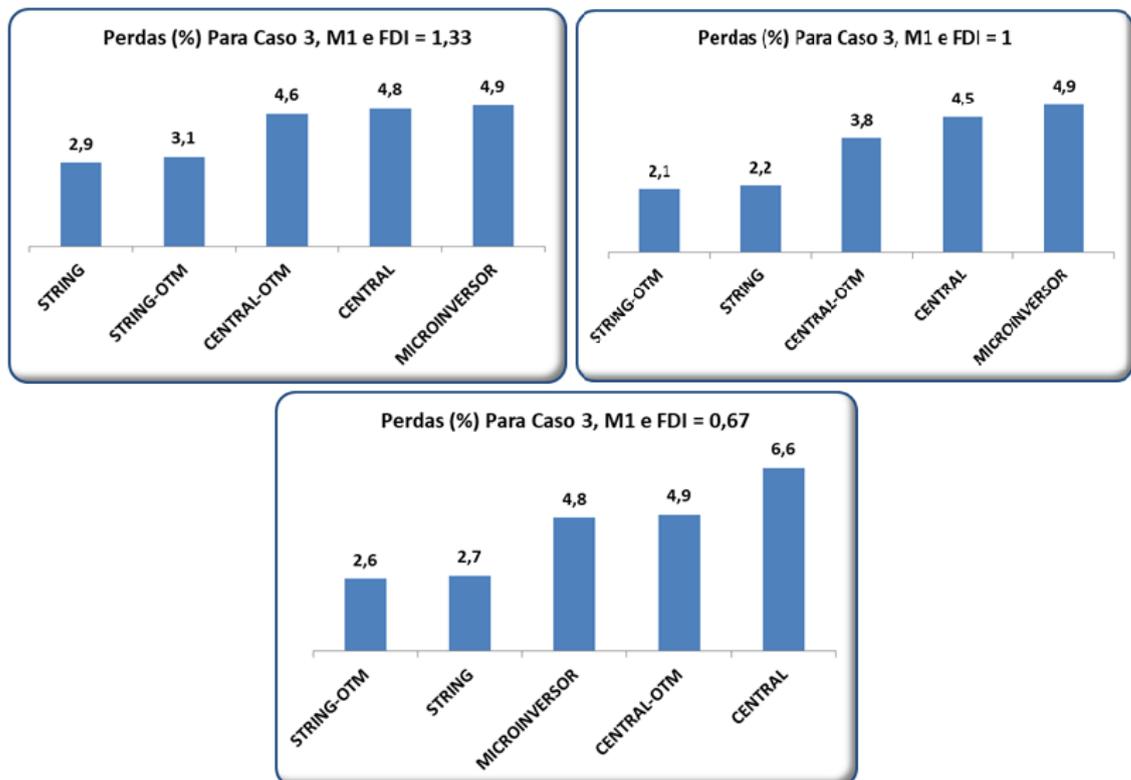
O **inversor central** apresenta **desempenho insatisfatório em todos os casos**, especialmente em FDI mais altos. No entanto, para FDI baixo (0,67), o **microinversor é ainda menos eficiente**. Em todas as situações analisadas, o **inversor string com otimizador se destaca como a melhor opção**.

3.2 Comparação das Perdas no inversor (%)

Nesta seção, são analisados os resultados das perdas no inversor nas simulações realizadas com o módulo de 550 W e 255W, considerando as variações do Fator de Desempenho da Instalação (FDI = 0,67; 1,00; 1,33). O objetivo é verificar o impacto direto das condições de instalação nas perdas de cada tipo de inversor.

3.2.1– Módulo 550 W

Gráfico 15: Perdas no Inversor (%) para Caso 3, Módulo 1



Fonte: Autoria Própria

Para essa configuração, é possível observar que, nos **FDIs mais altos** (1,33 e 1), o **microinversor apresenta as maiores perdas**, seguido de perto pelo **inversor central**, com diferenças de apenas **0,1%** e **0,4%**, respectivamente. Já para o **FDI mais baixo (0,67)**, o **inversor central** passa a ser o que mais perde energia, atingindo **6,6% de perdas**.

Entre os inversores com **melhor desempenho**, temos:

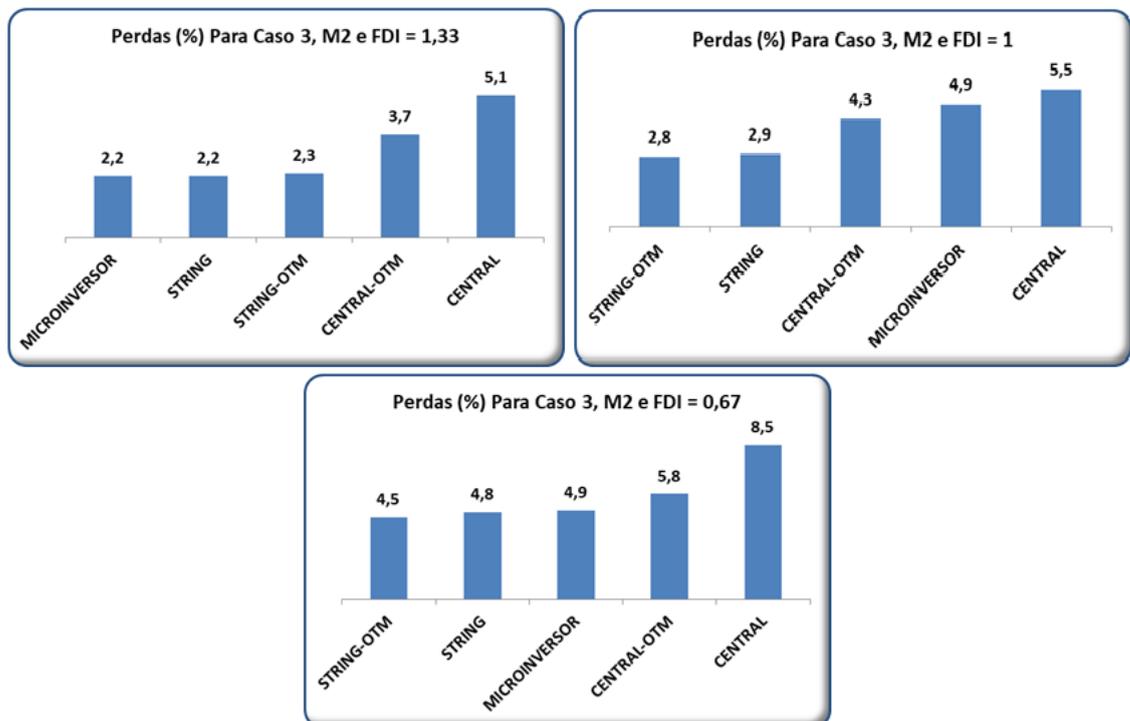
- Para **FDI de 1,33**, o **inversor string sem otimizador** teve destaque, com **apenas 2,9% de perdas**, seguido pelo **string com otimizador**, com **3,1%** — uma diferença mínima de **0,2%**.

- Já para **FDI de 1 e 0,67**, o **inversor string com otimizador** foi o mais eficiente, apresentando **2,1% e 2,6% de perdas**, respectivamente.

Conclusão sobre as perdas no inversor (%) – Caso 1 – Módulo 1
A melhor opção para essa configuração são os **inversores string**, com ou sem otimizador, a depender do FDI. Já as **piores escolhas** são o **microinversor e o inversor central**, com destaque negativo para o microinversor em FDI's altos e para o central em FDI's baixos.

3.2.2– Módulo 255 W

Gráfico 16: Perdas no Inversor (%) para Caso 3, Módulo 2



Fonte: Autoria Própria

Nesta configuração, é possível observar que, em todos os casos, o inversor central apresentou as maiores perdas, sendo consistentemente a pior escolha entre todas as opções analisadas.

Quanto aos inversores com **menores perdas**:

- Para um **FDI de 1,33**, os melhores desempenhos foram do **microinversor** e do **inversor string**, ambos com perdas de **2,2%**, seguidos de perto pelo **inversor string com otimizador**, com **2,3%** — uma diferença insignificante de **0,1%**.
- Já para **FDI's de 1 e 0,67**, o **inversor string com otimizador** se destaca como o mais eficiente, apresentando as menores perdas entre todos os modelos.

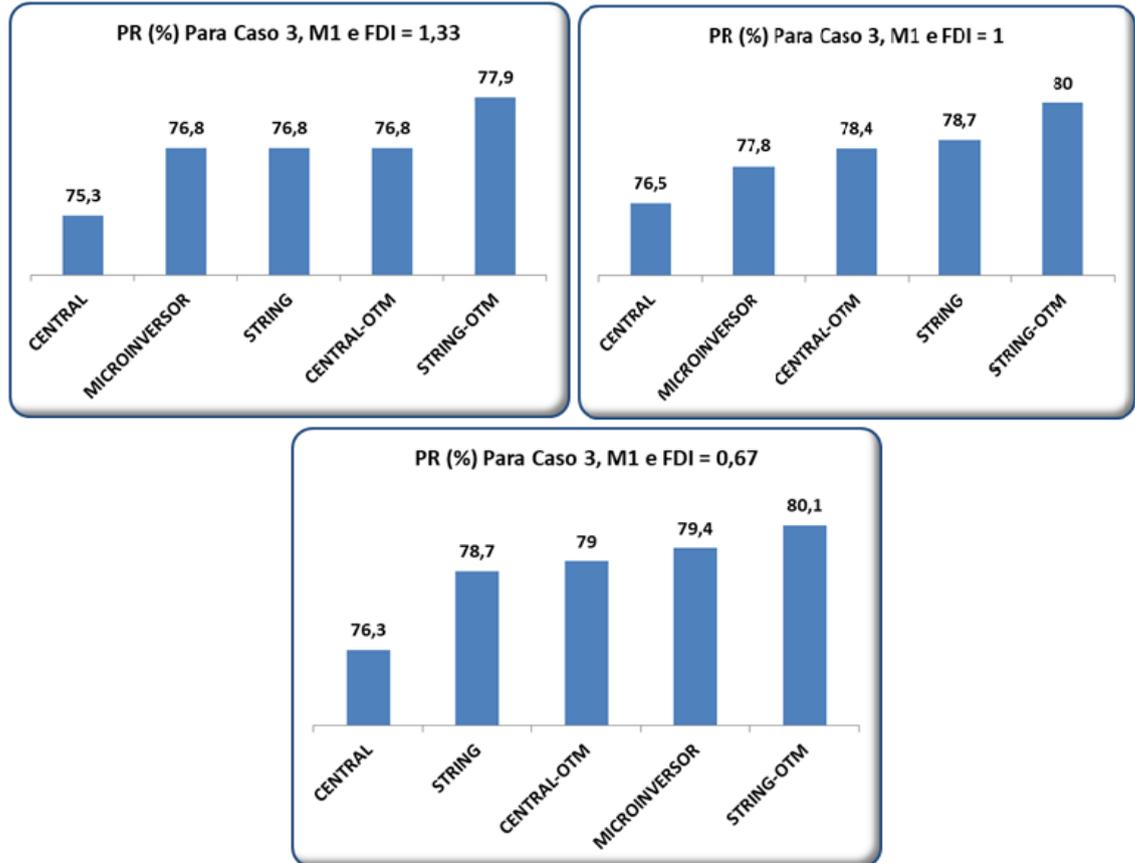
Conclusão sobre as perdas no inversor (%) – Caso 1 – Módulo 2
A melhor opção para essa configuração é o **inversor string com otimizador**, por apresentar o desempenho mais consistente e eficiente. Por outro lado, o **inversor central** se mostra a pior escolha, independentemente do FDI adotado.

3.3 Performance Ratio (%)

Nesta seção, são analisados os PR's nas simulações realizadas com os módulos de 550 W e 255 W, considerando as variações do Fator de Desempenho da Instalação (FDI = 0,67; 1,00; 1,33). O objetivo é verificar o impacto direto das condições de instalação nas perdas de cada tipo de inversor.

3.3.1– Módulo 550 W

Gráfico 17: PR (%) para Caso 3, Módulo 1



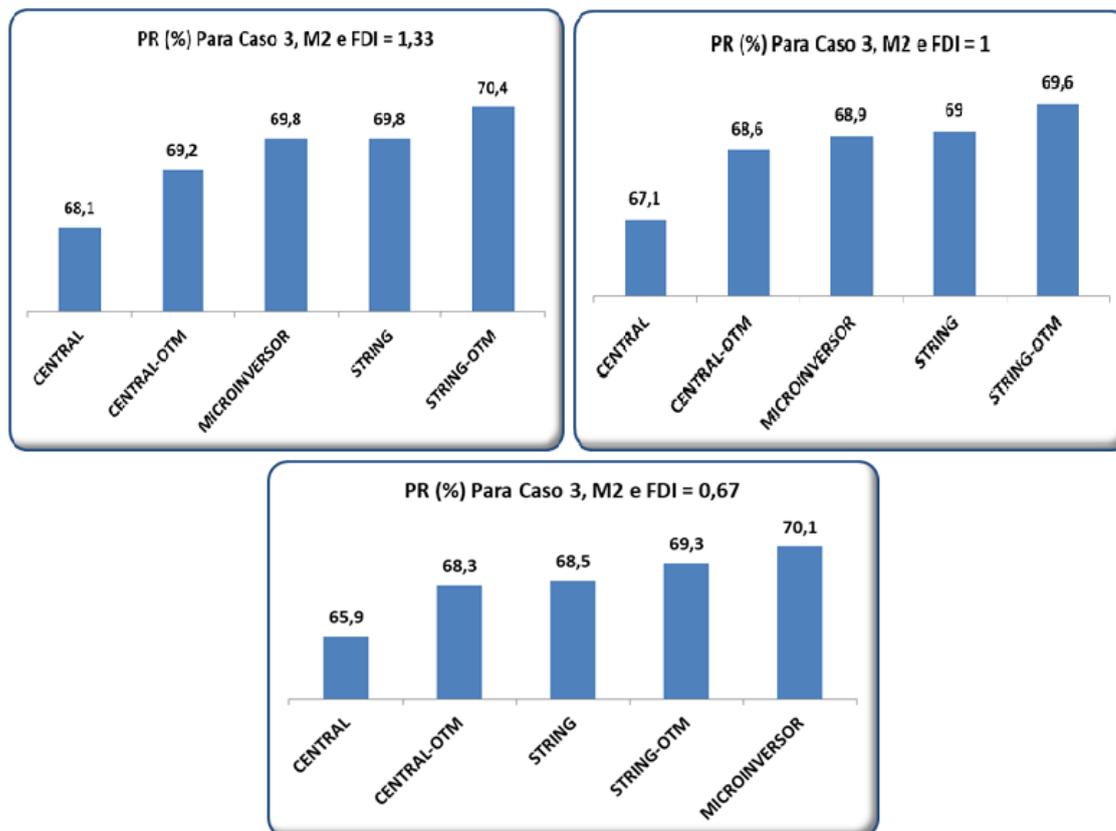
Fonte: Autoria Própria

Conclusão sobre o PR (%) – Caso 1 – Módulo 1

Nesta configuração, observa-se que, para todos os valores de FDI analisados, o **inversor string com otimizador** apresenta o **maior PR**, sendo, portanto, a **melhor opção**. Por outro lado, o **inversor central** apresenta consistentemente o **pior PR**, configurando-se como a **pior escolha** entre os inversores avaliados.

3.3.2– Módulo 255 W

Gráfico 18: PR (%) para Caso 3, Módulo 2



Fonte: Autoria Própria

Nesta configuração, observa-se o mesmo comportamento identificado na aplicação com o módulo 1: o inversor central continua sendo a opção com os piores PRs em todos os casos.

Para FDI de 1,33 e 1, o inversor string com otimizador apresentou o melhor desempenho. Já para um FDI de 0,67, o destaque foi o microinversor, com um PR de 70,1%, seguido de perto pelo string com otimizador, com 69,3%, representando uma diferença de apenas 0,8% entre eles.

Conclusão sobre o PR (%) – Caso 1 – Módulo 2

Dessa forma, conclui-se que a melhor opção, de forma geral, é o inversor string com otimizador, enquanto o inversor central permanece como a pior escolha nessa configuração.

4 COMPARAÇÃO GLOBAL DOS RESULTADOS

Com base nas análises apresentadas nas seções anteriores, esta etapa busca comparar diretamente o desempenho dos dois módulos simulados sob as mesmas condições de localização, FDIs e tipos de inversores. O objetivo é identificar qual configuração apresentou melhor desempenho global para o sistema fotovoltaico estudado.

4.1 Desempenho em Energia:

4.1.1 Caso 1

Ao analisarmos os Gráficos 1, que apresenta a energia gerada utilizando o Módulo 1, e compararmos com o Gráficos 2, referente ao Módulo 2, observa-se que as configurações com o Módulo 1 tendem a apresentar um desempenho superior em termos de geração de energia. Esse comportamento se repete tanto na melhor configuração de cada módulo quanto nas comparações entre os mesmos inversores, independentemente de sua posição no ranking de desempenho.

Entre todas as combinações simuladas, a melhor configuração para maximizar a geração de energia é aquela que utiliza o Módulo 1 (550 W), com tecnologia mais avançada, associada ao FDI mais alto (1,33) e ao microinversor, alcançando uma geração anual de 31.096 kWh. Em seguida, destaca-se a configuração com o mesmo módulo e FDI, mas utilizando o inversor string com otimizador, que gerou 31.057 kWh, uma diferença de apenas 0,12%, tornando ambas as opções tecnicamente relevantes.

Por outro lado, a configuração com o Módulo 2, o FDI mais baixo (0,67) e o microinversor apresentou o pior desempenho, com geração anual de apenas 137 kWh, evidenciando o impacto negativo de uma subdimensionamento acentuado aliado a uma tecnologia de menor eficiência.

4.1.2 Caso 2

Ao analisarmos o Gráfico 7, referente ao Módulo 1, e o Gráfico 8, do Módulo 2, é possível observar que, ao comparar os rankings de desempenho dos inversores, as configurações que utilizam o Módulo 1 apresentam, consistentemente, maior geração de energia.

A melhor configuração identificada entre todas as combinações foi aquela composta por FDI 1,33, Módulo 1 e inversor string com otimizador, destacando-se como a mais eficiente em termos de geração, com 16117 kWh..

Por outro lado, a pior configuração foi a que utilizou o FDI 0,67, Módulo 2 e microinversor, com uma geração anual de 6.854,8 kWh. Em seguida, aparece a configuração com FDI 0,67, Módulo 2 e inversor central, com geração de 6.858,8 kWh, uma diferença mínima de 0,05%. Essa pequena variação demonstra que ambas as configurações apresentam desempenho muito similar, sendo consideradas as menos eficientes entre todas as analisadas.

4.1.3 Caso 3

O Gráfico 13, referente ao Módulo 1, e o Gráfico 14, correspondente ao Módulo 2, demonstram que, nesta situação específica, as configurações com o Módulo 1 continuam apresentando desempenho superior em termos de geração de energia. Esse padrão se mantém tanto nas melhores configurações de cada módulo quanto nas comparações entre os mesmos tipos de inversores, independentemente da sua posição no ranking de desempenho.

Um destaque relevante é que mesmo a configuração menos eficiente com o Módulo 1 (FDI 1,33) ainda gerou mais energia do que todas as demais combinações com o Módulo 2, o que reforça o impacto positivo de uma tecnologia mais avançada.

A melhor configuração foi composta por FDI 1,33, Módulo 1 e inversor string com otimizador, atingindo uma geração de 29.533 kWh.

Já a configuração com o menor desempenho foi aquela com FDI 0,67, Módulo 2 e inversor central, com uma geração total de apenas 12.320 kWh, representando o valor mais baixo entre todas as simulações realizadas.

4.2 Perdas no Inversor:

4.2.1 Caso 1

Ao analisarmos o Gráfico 3, referente ao Módulo 1, e o Gráfico 4, correspondentes ao Módulo 2, é possível observar que, considerando apenas as perdas no inversor, as configurações com FDI mais alto (1,33 e 1,00) apresentaram maiores perdas no Módulo 1 em comparação ao Módulo 2. Por outro lado, no FDI mais baixo (0,67), as perdas foram superiores nas configurações com o Módulo 2.

Dentre todas as combinações simuladas, a configuração que apresentou menor perda no inversor foi a composta por FDI 1,00, Módulo 2 e inversor string com otimizador, com perdas de apenas 2,3%. Em segundo lugar, com 2,6% de perdas, está a configuração com FDI 1,00, Módulo 1 e o mesmo tipo de inversor, resultando em uma diferença de apenas 0,3%, o que torna ambas as opções tecnicamente viáveis e eficientes.

Por outro lado, a pior configuração em termos de perdas foi a que utilizou o FDI 0,67, Módulo 2 e inversor central, que apresentou 7,4% de perdas, um valor significativamente mais elevado em relação às demais combinações analisadas.

4.2.2 Caso 2

Ao observar o Gráfico 9, referente ao Módulo 1, e o Gráfico 10, do Módulo 2, nota-se que não há um padrão definido indicando que um módulo apresenta, de forma consistente, maiores ou menores perdas no inversor. As perdas variam conforme a combinação entre o módulo, o tipo de inversor e o FDI adotado.

A configuração com menor perda no inversor foi aquela composta por FDI 1,33, Módulo 1 e inversor string com otimizador, registrando apenas 3,2% de perdas, o que indica uma excelente eficiência de conversão.

Por outro lado, a configuração com maior perda foi observada com FDI 0,67, Módulo 2 e inversor central, que apresentou 13,8% de perdas, um valor significativamente superior às demais opções analisadas.

4.2.3 Caso 3

Ao analisarmos o Gráfico 15, referente ao Módulo 1, e o Gráfico 16, do Módulo 2,

observa-se que a **configuração com menor percentual de perdas no inversor** é a que utiliza **FDI 1,00, Módulo 1 e inversor string com otimizador**, apresentando perdas de apenas **2,1%**.

No entanto, outras configurações também demonstraram **valores muito próximos**, como:

- **FDI 1,00, Módulo 1 e inversor string comum: 2,2%**
- **FDI 1,33, Módulo 2 e microinversor: 2,2%**
- **FDI 1,33, Módulo 2 e inversor string comum: 2,2%**
- **FDI 1,33, Módulo 2 e inversor string com otimizador: 2,3%**

Esses resultados mostram que, quando consideradas isoladamente as perdas no inversor, **essas cinco configurações são tecnicamente equivalentes e viáveis**, com diferenças mínimas entre si.

Por outro lado, a **pior configuração** em termos de perdas foi a combinação com **FDI 0,67, Módulo 2 e inversor central**, que apresentou **8,5% de perdas**, valor significativamente superior aos demais, o que a torna a opção menos eficiente neste critério.

4.3 PR (Performance Ratio):

4.3.1 Caso 1

Ao analisarmos o Gráfico 5, correspondentes ao Módulo 1, e o Gráfico 6, referentes ao Módulo 2, observa-se que, de modo geral, as configurações com o Módulo 1 tendem a apresentar um desempenho superior em termos de PR (Performance Ratio). Esse comportamento é consistente tanto na comparação das melhores configurações de cada módulo quanto na comparação entre os mesmos inversores, independentemente de sua posição no ranking geral de desempenho.

A melhor configuração entre todas as simuladas, considerando o PR, foi aquela composta por FDI 1,00, Módulo 1 e inversor string com otimizador, que atingiu um PR de 81,7%.

Por outro lado, a pior configuração foi a que utilizou FDI 0,67, Módulo 2 e inversor central, com um PR de apenas 70,0%, evidenciando a queda significativa de desempenho associada a um dimensionamento inadequado e uma arquitetura menos eficiente.

4.3.2 Caso 2

Ao analisarmos o Gráfico 11, correspondente ao Módulo 1, e o Gráfico 12, referentes ao Módulo 2, observa-se que as configurações com o Módulo 1 tendem a apresentar um desempenho superior em termos de geração de energia, especialmente no que diz respeito ao Performance Ratio (PR). Esse padrão se mantém tanto nas melhores combinações de cada módulo quanto nas comparações entre os mesmos tipos de inversores, independentemente da sua posição no ranking geral de desempenho.

A melhor configuração identificada foi aquela composta por FDI 1,33, Módulo 1 e inversor string com otimizador, alcançando um PR de 85,5%, o mais alto entre todas as simulações.

Por outro lado, a configuração com o menor PR foi a formada por FDI 0,67, Módulo 2 e inversor central, com um PR de apenas 69,5%, indicando um desempenho significativamente inferior.

4.3.3 Caso 3

Ao analisarmos o Gráfico 17, referente ao Módulo 1, e o Gráfico 18, do Módulo 2, observa-se que mesmo os menores PRs obtidos com o Módulo 1 superaram os maiores PRs obtidos com o Módulo 2 em seus respectivos FDIs. Esse resultado evidencia a superioridade do Módulo 1 em termos de eficiência, independentemente do FDI ou do tipo de inversor utilizado.

A melhor configuração encontrada foi aquela composta por FDI 0,67, Módulo 1 e inversor string com otimizador, com um PR de 80,1%. No entanto, outra configuração igualmente eficiente foi a de FDI 1,00, Módulo 1 e o mesmo tipo de inversor, com PR de 80%. A diferença entre ambas é praticamente insignificante, o que demonstra que ambas são excelentes opções do ponto de vista do desempenho do sistema.

Em contrapartida, a configuração com o pior PR foi a composta por FDI 0,67, Módulo 2 e inversor central, que apresentou um índice de apenas 65,9%, indicando o menor rendimento entre todas as combinações analisadas.

CONCLUSÃO

Ao analisar em conjunto os parâmetros de **geração de energia**, **perdas no inversor** e **PR (Performance Ratio)**, observa-se um padrão claro: as configurações com o **Módulo 1** demonstraram desempenho superior em todos os cenários simulados. Essa tendência se manteve tanto nas melhores combinações quanto nas configurações menos eficientes.

- Em **geração de energia**, o Módulo 1 — com maior potência e tecnologia mais moderna — entregou os melhores resultados, especialmente em FDIs mais altos e quando associado a inversores string com otimizadores ou microinversores.
- Em **perdas no inversor**, os resultados oscilaram de acordo com a combinação de FDI e tipo de inversor. Algumas configurações com o Módulo 2 apresentaram menores perdas, mas isso **não se refletiu** em maior geração nem em melhor eficiência global.
- O **PR (Performance Ratio)** se destacou como o parâmetro mais estável e representativo, pois mede a eficiência real do sistema, considerando todas as perdas e o aproveitamento da irradiação disponível.

Assim, considerando o conjunto dos indicadores, as **melhores configurações** foram aquelas que aliaram o **Módulo 1 a inversores mais eficientes**, especialmente o **string com otimizador**, e os **piores desempenhos** ocorreram com

Módulo 2, FDI baixo (0,67) e inversor central — uma combinação de subdimensionamento com menor eficiência tecnológica.

Resumo por caso:

Caso 1:

- **Melhor configuração geral:**
 - **Módulo 1 | FDI 1,00 | Inversor string com otimizador**
 - **Energia:** ~31.057 kWh
 - **Perdas no inversor:** 2,6%
 - **PR:** 81,7%
- **Pior configuração geral:**
 - **Módulo 2 | FDI 0,67 | Microinversor**
 - **Energia:** 137 kWh
 - **Perdas no inversor:** ~7,3%
 - **PR:** ~70,0%

Caso 2:

- **Melhor configuração geral:**
 - **Módulo 1 | FDI 1,33 | Inversor string com otimizador**
 - **Energia:** 16.117 kWh
 - **Perdas no inversor:** 3,2%
 - **PR:** 85,5%
- **Pior configuração geral:**
 - **Módulo 2 | FDI 0,67 | Inversor central**
 - **Energia:** 6.858,8 kWh
 - **Perdas no inversor:** 13,8%
 - **PR:** 69,5%

Caso 3:

- **Melhor configuração geral:**
 - **Módulo 1 | FDI 1,33 | Inversor string com otimizador**
 - **Energia:** 29.533 kWh
 - **Perdas no inversor:** 2,2%
 - **PR:** 80,0%
- **Pior configuração geral:**
 - **Módulo 2 | FDI 0,67 | Inversor central**
 - **Energia:** 12.320 kWh
 - **Perdas no inversor:** 8,5%
 - **PR:** 65,9%

Mesmo quando uma determinada configuração apresentou perdas no inversor ligeiramente menor, isso **não garantiu um melhor desempenho** global. O parâmetro mais robusto e confiável para comparar diferentes configurações foi o **PR**, pois ele integra o impacto de todas as perdas e a eficiência real de conversão energética do sistema.

Portanto, as configurações com **Módulo 1 + inversor string com otimizador**
Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica.
01 de agosto de 2025

apresentaram o melhor equilíbrio entre produção energética, eficiência e perdas, sendo as mais recomendadas para um sistema fotovoltaico de alto desempenho em todos os casos estudados.

Outro ponto importante é que, ao compararmos os resultados obtidos nesse estudo com a nossa revisão bibliográfica, vemos que existem alguns pontos em comum, sendo eles:

1. Vantagem dos Microinversores sob Sombreamento Parcial

- **TCC:** Mostra que os microinversores **mantêm melhor desempenho energético** quando há sombreamento parcial nos módulos, ao possibilitar MPPT individual.
- **Fraunhofer (2022), Energies (2023), UFU/UnB (2020):** Confirmam que **microinversores têm rendimento superior em situações com sombras** ou strings não uniformes.

2. Performance Ratio (PR) e Produtividade como Métricas-Chave

- Tanto o TCC quanto todos os artigos comparativos **utilizam PR e produtividade (Yf)** como principais indicadores de desempenho.
- Os valores ficam na faixa de **75% a 80% de PR**, com variações atribuídas ao tipo de inversor e condições de instalação.

3. Importância da Simulação via PVSyst

- O TCC e diversos artigos (Fraunhofer, UFU/UnB, SMA x Fronius) **utilizam o PVSyst para prever perdas por mismatch, sombreamento e rendimento.**

No entanto, devido ao foco do trabalho e às limitações encontradas durante a pesquisa, permanece a questão sobre o motivo de, em determinados cenários, inversores que geralmente apresentaram piores desempenhos terem obtido resultados superiores, enquanto aqueles que na maioria das análises foram os melhores tiveram desempenho inferior. Acredita-se que esse comportamento esteja relacionado às perdas associadas a cada módulo, bem como aos diferentes tipos de perdas decorrentes das configurações e tamanhos das strings. Para esclarecer melhor essa situação, seria necessário realizar um estudo mais aprofundado, com foco na análise detalhada dessas variáveis.

Outro ponto importante a ser explorado em pesquisas futuras refere-se ao aspecto financeiro. Apesar de o inversor string com otimizadores ter se mostrado a melhor opção em termos de desempenho, não é possível afirmar se essa alternativa é viável economicamente ou se o ganho de eficiência justifica o investimento adicional. Dessa forma, recomenda-se a realização de estudos que integrem análise de desempenho e análise econômica, de modo a fornecer uma avaliação mais completa da relação custo-benefício dessas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- [1] REN21, 2021. Política de energia renovável - Relatório de status global. Capítulo 01. Disponível em: < https://www.ren21.net/gsr-2020/chapters/chapter_01/chapter_01/ >. Acesso em 10/11/2024.
- [2] WEG. 7 Vantagens Da Energia Solar Para Sua Empresa. Disponível em: <<https://www.weg.net/solar/blog/7-vantagens-da-energia-solar-para-sua-empresa/> >. Acesso em: 09/11/2024.
- [3] FATOR SOLAR ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2021. O Potencial Do Brasil Para A Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: < <https://fatorsolar.eco.br/o-potencial-do-brasil-para-a-energia-solar-fotovoltaica/> >. Acesso em: 20/01/2025.
- [4] ABSOLAR, 2024. Energia Solar Avança E Chega A Quase 17% Da Matriz Elétrica Brasileira. Disponível em: < <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-avanca-e-chega-a-quase-17-da-matriz-eletrica-brasileira/> >. Acesso em: 20/01/2025.
- [5] PORTAL SOLAR. Inversor Solar: O Que É, Como Funciona E Como Escolher. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/inversor-solar-o-que-e> >. Acesso em 02/08/2025.
- [6] AQUINO, Eduardo. O Que É: Inversor Central. Disponível em: < <https://www.eduardoaquino.com.br/glossario/o-que-e-inversor-central-guia-completo/> >. Acesso em 02/08/2025.
- [7] FRONIUS. Fronis, Symo Brasil. Disponível em: < chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgiclfndmkaj/https://wdcnet.com.br/wp-content/uploads/2024/06/DATASHEET-FRONIUS-SYMO-BR-15.0.pdf >. Acesso em 10/11/2024.
- [8] CAMPOS, Luis Oliver. O Que É Um Inversor Central Solar Fotovoltaico. Disponível em: <<https://boaenergia.com.br/glossario/o-que-e-um-inversor-central-fotovoltaico/>>. Acesso em 02/08/2025.
- [9] GUIA ENERGIA SOLAR BRASIL. O Que É: Inversor String. Disponível em: <<https://guiaenergiasolarbrasil.com.br/glossario/o-que-e-inversor-string/>>. Acesso em 02/08/2025.
- [10] GROWATT. MID 15KTL3-XL2. Disponível em: < <https://br.growatt.com/products/mid-15-25ktl3-xl2> >. Acesso em 10/11/2024.
- [11] DEYE. SUN-M130/160/180/200/220/225G4-EU-Q0. Disponível em: < <https://pt.deyeinverter.com/product/microinverter-1/sunm220-225g4euq0-22002250w-single-phase-4mppt-micro-inverter.html> >. Acesso em 10/11/2024.

[12] NEOSOLAR. Microinversor Solar: O Que É Microinversor. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor/>>. Acesso em 02/08/2025.

[13] FRANCO, Nathalie. Microinversor Solar: O Que É, Como Instalar E Tudo Sobre. Disponível em: <<https://www.solarmarket.com.br/blog/microinversor-solar>>. Acesso em 02/08/2025.

[14] ANDSOLAR. Vale A Pena Investir Em Otimizadores Solares. Disponível em: <<https://www.andsolartech.com/pt/blog/are-solar-optimizers-worth-it>>. Acesso em 02/08/2025.

[15] ALLEGRO. Solar Power Plant Tigo 700w. Disponível em: <<https://allegro.pl/produkt/elektrownia-solarna-tigo-700-w-02e33c16-555c-4ffd-8995-fd4d87ba4f29?offerId=17691630651>>. Acesso em 02/08/2025.

[16] LGL SOLAR TREINAMENTOS. Otimizadores De Sistemas Fotovoltaicos Valem A Pena?. Disponível em: <<https://lglsolar.com.br/otimizadores-de-sistemas-fotovoltaicos-valem-a-pena/>>. Acesso em 02/08/2025.