



**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS  
CURSO**

**WILLIAM HENRIQUE SILVA DE SOUZA**  
Matricula (RA)21215067

**ANÁLISE DE DESEMPENHO ENTRE PLANTAS FOTOVOLTAICAS  
NO DISTRITO FEDERAL**

**BRASÍLIA**  
2023



WILLIAM HENRIQUE SILVA DE SOUZA

## **ANÁLISE DE DESEMPENHO ENTRE PLANTAS FOTOVOLTAICAS NO DISTRITO FEDERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado como um dos requisitos para a  
conclusão do curso de Engenharia de  
Computação do UniCEUB– Centro  
Universitário de Brasília

Orientador: **Prof. Luciano Henrique Duque**

BRASÍLIA  
2023



WILLIAM HENRIQUE SILVA DE SOUZA

## **ANÁLISE DE DESEMPENHO ENTRE PLANTAS FOTOVOLTAICAS NO DISTRITO FEDERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado como um dos requisitos para a  
conclusão do curso de Engenharia de  
Computação do UniCEUB – Centro  
Universitário de Brasília

Orientador: **Prof. Luciano Henrique Duque**

Brasília, 2023.

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Nome e titulação.

Orientador (a): Luciano Duque Mestre

---

Nome e titulação.

Examinador (a): Hugo Molina  
Especialista

---

Nome e titulação.

Examinador (a): Nathália Salomão  
Especialista

## ANÁLISE DE DESEMPENHO ENTRE PLANTAS FOTOVOLTAICAS NO DISTRITO FEDERAL PERFORMANCE ANALYSIS BETWEEN PHOTOVOLTAIC PLANTS IN THE DISTRITO FEDERAL

William Henrique Silva de Souza<sup>1</sup>, Professor Luciano Henrique Duque<sup>2</sup>

### Resumo:

Nos países em desenvolvimento a demanda por energia elétrica vem crescendo cada vez mais e este aumento tem causado muito transtorno ao setor energético e aos consumidores em geral. Diante dos problemas verificados com o intenso uso da energia convencional, com a falta de sustentabilidade e com os custos elevados dessa modalidade de energia, alguns especialistas constataram a necessidade de desenvolverem novas tecnologias em busca de energia que se originasse de fonte limpa, renovável, inesgotável e que envolvesse menor custo. Daí surgiu a ideia de transformar a radiação solar em energia, tendo a energia solar fotovoltaica se apresentado como uma excelente solução para os problemas apontados. O Brasil possui um excelente índice de radiação solar, o que facilita a captação dessa radiação e a sua transformação em energia elétrica através de painéis fotovoltaicos. Nesse contexto, o presente trabalho pretende discorrer sobre o princípio de utilização da luz solar convertida em energia elétrica por meio de placas fotovoltaicas, ao tempo em que será feita análise técnica de usinas fotovoltaicas residenciais de pequeno porte, na forma de microgeração conectadas à rede de distribuição local. O dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos será feito com a utilização de métodos usuais e por intermédio de cálculos obtidos a partir de um software especializado para simular os resultados imaginados nesse modelo. Ao final os dados calculados e simulados deverão ser comparados aos dados auferidos na geração das Unidades Condicionadoras de Potência (UCPs) das usinas analisadas e depois será feita uma comparação sobre possíveis divergências entre a geração, o dimensionamento e o resultado almejado. Por fim, será feita uma comparação entre os resultados através da normalização de kWh/kWp, assinalando as possíveis desproporções nos resultados alcançados.

**Palavras-chave:** sistema fotovoltaico. geração. Pvsyst. Dados.

### Abstract:

In developing countries, the demand for electricity is growing more and more and this increase has caused much inconvenience to the energy sector and consumers in general. Faced with the problems verified with the intense use of conventional energy, with the lack of sustainability and with the high costs of this type of energy, some specialists found the need to develop new technologies in search of energy that originated from a clean, renewable, inexhaustible source. and involving less cost. From there came the idea of transforming solar radiation into energy, with photovoltaic solar energy presenting itself

---

<sup>1</sup> UniCEUB, William Henrique Silva de Souza.

<sup>2</sup> UniCEUB, Professor Luciano Henrique Duque.

as an excellent solution to the problems mentioned. Brazil has an excellent rate of solar radiation, which facilitates the capture of this radiation and its transformation into electricity through photovoltaic panels. In this context, the present work intends to discuss the principle of using sunlight converted into electricity by means of photovoltaic panels, at the same time that a technical analysis of small residential photovoltaic plants will be carried out, in the form of microgeneration connected to the local distribution. The sizing of photovoltaic systems will be done using usual methods and through calculations obtained from specialized software to simulate the results imagined in this model. At the end, the calculated and simulated data should be compared to the data obtained in the generation of the Power Conditioning Units (PCUs) of the analyzed plants and then a comparison will be made on possible divergences between the generation, the sizing and the desired result. Finally, a comparison will be made between the results through the normalization of kWh/kWp, pointing out the possible disproportions in the achieved results.

**Keywords:** photovoltaic system. generation. pvsyst. Data.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil a matriz energética mais utilizada é proveniente de hidroelétrica que apesar de ser uma energia limpa já não tem mais grande potencial para atender à crescente demanda de energia, seja em razão das condições sazonais (pouca precipitação de chuvas) ou do alto custo de implantação das redes de transmissão e distribuição. De mais a mais, a construção das usinas tem um alto custo e se mostra bastante danosa ao meio ambiente por causa dos alagamentos de importantes áreas florestais, desaparecimento de vilas e pequenas cidades e habitat natural de alguns animais, afetando diretamente as pessoas, a fauna e a flora local.

O Brasil é considerado um país privilegiado, porque utiliza pouca energia oriunda de combustíveis fósseis e ultimamente a Energia Solar fotovoltaica tem se destacado no cenário Mundial.

Os combustíveis fósseis estão cada vez mais sendo objetos de acaloradas discussões no mundo inteiro em razão de seus efeitos poluentes e as usinas hidrelétricas vivem um momento de incertezas pois necessitam de bons índices pluviométricos para a sua

operacionalização, o que ultimamente não tem ocorrido em diversas regiões. Além disso existe uma grande complexidade em seu sistema de geração, transmissão e distribuição que dificulta e encarece sua chegada ao consumidor, ao mesmo tempo em que se questiona a sua perenidade. Diante das razões apontadas faz-se necessário criar outros mecanismos para obtenção de energia que possa compor a matriz energética brasileira.

Como visto, a eletricidade é a mola motriz que impulsiona a humanidade pois é dela que provém fontes de luz, calor e força necessárias ao mundo moderno. Sendo a energia um fator fundamental e indispensável para a humanidade e para o seu desenvolvimento é inevitável que se agregue novas alternativas para que sejam atendidas as demandas do sistema existente e que se busque por um mundo mais eficiente energeticamente por meio de métodos inteligentes de geração, transmissão e distribuição de energia, procurando ainda, gerar menor impacto ambiental, reduzindo sobremaneira, a emissão de poluentes tais como o dióxido de carbono que é um dos grandes vilões do aquecimento global. À vista

disso, vemos o grande crescimento da energia solar fotovoltaica.

Ainda possuímos escassa legislação sobre o assunto. Em 2012 o Poder Público publicou a Resolução Normativa nº 482, que permitiu ao consumidor brasileiro gerar sua própria energia, sendo responsável por criar regras limitadoras acerca de sistemas de micro geração e mini geração distribuída. Com esta Resolução o Brasil aderiu ao método do sistema de compensação do Net-metering, que permite que a energia excedente seja injetada na rede da concessionária. Alguns países adotaram o sistema de compensação do Feed-in-tariff (FIT), no entanto, aqui esse sistema ainda é bastante incipiente.

A Lei 14.300 de 07/01/2023 ficou conhecida como Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída ou Lei de Taxação do Sol e foi recebida como falta de incentivo do Poder Público. Essa lei prevê uma taxa na distribuição de energia elétrica no sistema on grid para garantir a sustentabilidade e evitar subsídios excessivos. Mesmo diante da taxa, a vantagem ainda é enorme segundo Bárbara Rubim, vice-presidente de geração distribuída da ABSOLAR. (canal Rural – 23/03/2023).

## 2. Revisão Bibliográfica

No capítulo 2 objetiva-se apresentar o contexto dos temas abordados e também elucidar algumas definições que servirão de base para os projetos desenvolvidos. Para a viabilidade técnica do projeto é necessário atentar para os ângulos da geometria solar, que estão diretamente ligados à quantidade e qualidade da radiação que os módulos fotovoltaicos recebem.

### 2.1. Desenvolvimento Sustentável

A definição mais aceita mundialmente sobre desenvolvimento sustentável foi a dada pela Comissão Mundial do Meio Ambiente criada pelas Nações Unidas (ONU) em 1991, que diz que o desenvolvimento sustentável “é aquele capaz de suprir as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de atender as necessidades de futura gerações”.

A Comissão Mundial do Meio Ambiente foi criada pela Organização das Nações Unidas (ONU) com o propósito de conciliar o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental.

O desenvolvimento sustentável não se confunde com o desenvolvimento econômico. O uso indiscriminado de recursos naturais provoca transtornos tanto ao meio ambiente quanto ao próprio desenvolvimento econômico, que se iniciou no século XVIII com a Revolução Industrial, tendo o mundo passado por grandes transformações sociais e econômicas e no século XIX além da população ter aumentado exponencialmente a força humana foi substituída por máquinas que eram empregadas para a produção em larga escala, aumentando a demanda por energia elétrica.

### 2.2. Sistemas Fotovoltaicos

A energia fotovoltaica é produzida a partir da incidência da luz do sol sobre placas e pode ser gerada mesmo em dias nublados ou chuvosos. Na geração distribuída a instalação deste tipo de tecnologia tem apresentado um elevado crescimento. De acordo com a ANEEL, 2022, o Brasil passou de 1.311 unidades instaladas com uma geração de 8.966,73 kW em 2015 para 468.983 unidades instaladas, passando para uma potência

de 4.475.228,61 em 2022 em todo território nacional. Segundo a ANEEL, 2022, nosso país ultrapassou a marca de 10 gigawatts (GW) de potência instalada em micro e minigeração distribuída de energia elétrica.

Na configuração on-grid, o sistema é interligado à rede elétrica local, tendo como vantagens a redução tarifária, a fácil manutenção, economia futura, qualidade da energia e a instalação simplificada.

O sistema off-grid, ao contrário do on-grid não possui ponto de conexão com a concessionária, ele funciona de forma autônoma e depende de bateria para armazenamento da energia. E as vantagens dessa modalidade são a redução de consumo de combustíveis fósseis, aumento da disponibilidade de energia, possibilidade de levar energia a localizações mais remotas, fornecimento de energia de forma constante e ininterrupta e diminuição das emissões de gás carbônico.

Por último temos o sistema fotovoltaico híbrido, que combina o sistema on-grid e o sistema off-grid.

### 2.3. Instalação do Sistema Fotovoltaico

Para instalar um sistema fotovoltaico precisamos de alguns componentes que são essenciais para o funcionamento da usina solar. Esses componentes são separados em três blocos: o bloco gerador, o bloco de condicionamento de potência e o bloco de armazenamento.

### 2.4. Fatores Que Influenciam Na Geração Dos Sistemas Fotovoltaicos

Há vários fatores que podem influenciar na operação ideal de um sistema fotovoltaico. Apenas os

principais fatores de perda serão detalhados neste trabalho.

Quando um dos módulos de uma série deixa de receber irradiação solar, ele deixa de conduzir e impede que o arranjo inteiro deixe de fornecer corrente ao circuito (COUTINHO-2016). O sombreamento tanto pode ser previsível quanto imprevisível. No primeiro caso, quando se tem um muro, um prédio ou uma árvore gerando sombra sobre o sistema, deve-se evitar este sombreamento na elaboração do projeto, de forma que o sistema receba o máximo de luz solar possível ao longo do dia. No segundo caso quando caem folhas, galhos e dejetos animais que se depositam sobre os módulos, sendo necessário apenas uma limpeza periódica.

Os sistemas fotovoltaicos são compostos por conjuntos de módulos que podem ser combinados de várias formas, visto que existe um número grande de combinações em série e paralelo que podem ocorrer. Devido a diferença entre as células fotovoltaicas que os compõem, os módulos fotovoltaicos, mesmo que sejam do mesmo fabricante e linha de produção, possuem características próprias. Graças a essas diferenças, a incompatibilidade entre características de módulos acarreta na perda por descasamento de módulos (mismatch), onde as células de menor fotocorrente limitam a eficiência total do módulo e assim afetando o desempenho do sistema FV como um todo

## 3. Materiais e Metodologia de Trabalho

O projeto de implantação do sistema fotovoltaico conectado à rede de energia local será elaborado para duas residências localizadas no Distrito Federal, nas cidades Asa Sul e Lago Norte. Em uma das residências será

utilizado um inversor e na outra microinversor. Realizada a análise acima mencionada determinaremos o potencial energético e a porcentagem do consumo que podem gerar. As análises técnicas serão feitas com o auxílio de softwares.

Nesse capítulo constarão os materiais e os métodos utilizados no projeto e também serão analisadas as duas usinas fotovoltaicas que serviram de base para o trabalho. Aqui serão exibidas as formas que os projetos foram elaborados originalmente e as simulações utilizando os mesmos componentes encontrados nas usinas analisadas. Começaremos apresentando os materiais utilizados e na sequência a metodologia.

- PVSyst® O PVSyst® é um programa de auxílio no dimensionamento de sistemas de energia solar fotovoltaica que lança mão de um extenso banco de dados contendo a maioria dos componentes utilizados no mercado de energia solar. É um dos softwares mais utilizados mundialmente neste tipo de projeto (PVSYST, 2021). Para os projetos tratados neste trabalho o PVSyst® foi utilizado para gerar um relatório do sistema simulado contendo uma expectativa de geração de energia. Este relatório será utilizado com o objetivo de comparar a geração simulada com aquela medida via monitoramento da UCP, além daquela calculada pelo método teórico.

- Sistemas de monitoramento Fronius Solar Web® e Hoymiles S-miles Cloud®. Ambos são uma ferramenta online de visualização de dados coletados pelos dataloggers das UCPs. Esses recursos foram usados para coletar os dados de geração dos sistemas durante o período analisado para que pudessem ser feitas as devidas comparações com os cálculos manuais e simulações.

### 3.1. Metodologia

A geração de energia depende das características dos inversores e dos módulos fotovoltaicos. Depende também da orientação e posicionamento das placas, além da irradiação do local de instalação e perdas nos cabos, por isso vários parâmetros são levados em conta quando se prevê o desempenho de um sistema fotovoltaico e o seu correto dimensionamento.

A Resolução Normativa 482 de 2012 da ANEEL, modificada pela resolução normativa 687 de 2015, diz que no Brasil deve ser utilizado o sistema de compensação da geração distribuída na forma de créditos de energia, ou seja, a energia injetada na rede durante o funcionamento do sistema gera créditos, créditos esses que servem para compensar o consumo de energia elétrica, sendo que o mínimo valor de cobrança deve ser sempre aquele referente ao custo de disponibilidade da rede. Na prática, isso significa que para os consumidores do grupo Baixa Tensão, que são os analisados neste trabalho, caso o fornecimento seja monofásico, o consumidor deverá arcar com os custos de ao menos 30 kWh, o de fornecimento bifásico ao menos 50 kWh e consumidores trifásicos ao menos 100 kWh (ANEEL-REN 687, 2012). Ainda nesta conta são acrescidas as taxas de iluminação pública e as tarifas correspondentes.

O consumo médio mensal de energia é o valor de referência utilizado para o correto dimensionamento do sistema. Este valor de consumo é encontrado na fatura de energia elétrica da unidade consumidora. No caso de Brasília-DF, a fatura de energia descreve um histórico de consumo médio com os últimos 12 (doze) meses de utilização. Outro fator de grande importância antes da

elaboração do projeto é consultar o responsável pela unidade consumidora para ver se pretende aumentar o seu consumo de energia em um futuro próximo, tais como, trocar o fogão a gás por um fogão elétrico ou de indução, instalação de ar condicionado ou a instalação de mais chuveiros elétricos, uma vez que o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é projetado para ter uma vida útil de 25 anos ou mais.

Atualmente a Lei nº 14.300 de 07 de janeiro de 2023 prevê uma taxa na distribuição de energia elétrica produzida a partir de painéis solares conectados à rede (sistema on grid), sendo que a tarifa é cobrada de acordo com a quantidade que o consumidor gera e injeta na rede elétrica. Esta lei ficou conhecida como Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída ou Lei de Taxação do Sol.

A unidade padrão utilizada para a Irradiação solar é dada em kWh/m<sup>2</sup>/dia manual engenharia (CRESESB, 2014). À vista disso, é essencial que se utilize a equação  $Consumo\ Diario = (Consumo\ Mensal)/30$  para se converter o consumo médio mensal da unidade consumidora em consumo médio diário. Para simplificar os cálculos, considera-se mês o período de 30 dias.

Para determinar a potência necessária para o arranjo fotovoltaico em kW, deve-se utilizar a demanda diária calculada anteriormente. Com esse consumo calculado em kWh podemos dividi-lo pelo número de Horas de Sol Pleno. O valor de HSP representa o número equivalente de horas por dia em que a irradiância solar permanece constante e igual a 1 kW/m<sup>2</sup>, assim a energia resultante é igual à energia acumulada para o dia e local em questão. O valor de HSP representa o mesmo valor de irradiância solar, porém na unidade de

horas/dia (Oliveira Júnior, E. S.-2020). Se o consumo diário, em kWh/dia, for dividido pelas Horas de Sol Pleno, em horas/dia, obtêm-se a Potência do Arranjo fotovoltaico, em kWp. Assim como demonstrado na equação  $Potencia\ do\ Arranjo = (Consumo\ Diario)/HSP$ . A potência do arranjo fotovoltaico alcançado por meio desse método não leva em consideração os fatores que afetam o desempenho de um sistema, como a orientação, sombreamento, entre outros.

A taxa de desempenho representa um fator de correção para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Essa taxa possui valores típicos entre 70 e 80% (PINHO; GALDINO, 2014). A taxa abrange várias causas de perda no sistema fotovoltaico tais como temperatura de operação dos módulos, acúmulo de sujeira, perdas no inversor, e outros. Esta taxa de desempenho deve ser escolhida pelo projetista de acordo com as condições existentes no local de instalação, atentando-se para o agravamento de cada um dos fatores que causam perdas no sistema e de forma a compensar os efeitos destes na geração de energia. Dessa forma, a potência necessária para suprir a demanda total do sistema é dada pela equação  $Potência\ do\ sistema = (Potência\ do\ Arranjo)/(Taxa\ de\ Desempenho)$ .

A partir da potência de sistema obtida temos a potência total de pico a ser atingida pelo sistema fotovoltaico. Desta forma, escolhe-se um modelo de módulo que esteja disponível no mercado e que seja economicamente viável. Com o módulo definido, utilizamos a potência de pico deste módulo para definir quantos módulos seriam necessários através da equação  $Quantidade\ de\ Módulos =$

(Potência do Sistema)/  
(Potência de Pico Do Módulo). Caso o resultado dê um número com casas decimais, deve-se realizar o arredondamento para cima, de forma que fique garantida a geração esperada.

O valor de potência pico total dos módulos é o valor a se usar para a escolha da unidade de condicionamento de potência. Essa potência de UCP pode ser maior ou menor do que a potência total dos módulos, de forma que se for menor, deve-se respeitar a potência máxima suportada descrita no datasheet do inversor. Uma UCP com potência menor do que aquela potência total do conjunto de módulos vai limitar a produção de energia nos horários de maior irradiância solar. Isso ocorre porque ao atingir a sua potência máxima de geração, a UCP limita a produção ao seu valor máximo de potência para que o equipamento não seja danificado. Já no caso de se optar por uma potência de UCP maior, é necessário se atentar para a tensão mínima de funcionamento deste no seu datasheet. A utilização de inversores com este sobredimensionamento de módulos é uma prática comum quanto se pretende expandir a capacidade total do sistema através da compra de mais módulos em um futuro próximo e também com o objetivo de apresentar um melhor aproveitamento da captação solar mesmo em baixos valores de irradiação, além de manter o inversor operando em excelentes pontos de rendimento. A escolha do inversor muitas vezes é condicionada também à disponibilidade do mercado. De forma que não havendo um inversor da exata potência desejada, escolhe-se aquele com a potência que seja comparável com o arranjo fotovoltaico dimensionado ou fazendo a opção por mais de um inversor de menor potência trabalhando em conjunto.

#### 4. Discussões dos Resultados

Neste capítulo será demonstrada a aplicação dos métodos de cálculo manual e de simulação do dimensionamento de usinas fotovoltaicas residenciais e como foram feitas as escolhas para os dois casos a serem analisados neste trabalho. Além disso, os dados de geração oriundos das UCPs desses sistemas serão utilizados para a comparação. Para se levantar os dados de irradiação mais assertivos para o local, utilizou-se das coordenadas geográficas adquiridas da edificação e, de posse dessas, utilizou-se do portal CRESESB para medição do potencial solar através do SunData V 3.0 os dados obtidos foram do ano de 2022, desta forma pode haver discrepâncias quando comparados os resultados com os dados de geração colhidos da UCP que são de 2022/2023.

MÊS	TOTAL DIÁRIO [KWH/M <sup>2</sup> ]	TOTAL MENSAL [KWH/M <sup>2</sup> ]
JAN	5,35	165,8
FEV	5,83	163,3
MAR	5,51	170,4
ABR	5,16	154,8
MAI	4,84	150
JUN	5,01	150,3
JUL	5,30	164,2
AGO	5,91	183,1
SET	6,09	182,2
OUT	5,28	163,7
NOV	4,78	143,5
DEZ	4,96	153,8
MÉDIA	5,34	162,1

##### 4.1. Sistema 1

O local de instalação da usina solar fotovoltaica representada pelo Sistema 01 é uma residência localizada na asa sul, Brasília-DF. Para haver maior aproveitamento do recurso solar neste projeto, foi escolhido o telhado que

deságua mais ao norte. O telhado tem uma inclinação de, aproximadamente, 15° com o horizonte e orientação azimutal de 30° Oeste. Além disso, a área necessária para instalar é de cerca de 20m<sup>2</sup>. Que consome na média de 420 kWh mensal.

Utilizando desses dados e as equações citadas anteriormente, temos os seguintes resultados:

$$Cd = (420 \text{ kWh}) / (30 \text{ dias}) = 14 \text{ kWh/dia.}$$

$$Pa = Cd / HSP = (14 \text{ kWh/dia}) / (5,34 \text{ horas/dia}) = 2,62 \text{ kWp.}$$

A Taxa de Desempenho, discutida anteriormente, possui valores típicos que variam entre 70% a 80%. Para o dimensionamento do sistema 1 foi utilizada a taxa de desempenho com o valor de 70% por se considerar que este projeto teria um alto rendimento devido a sua orientação azimutal estar voltada muito próximo a direção Norte. Sendo assim segue a equação:

$$Ps = Pa / TD = 2,62 \text{ kWp} / 0,7 = 3,27 \text{ kWp.}$$

A escolha dos módulos para este projeto foi feita com base na disponibilidade do fornecedor e exigência do cliente pela marca, desta forma, foi escolhido o módulo Trina Tallmax plus+ TSM-DE14H-345W, com 345 Wp, cujas especificações técnicas são:

Características Módulo STC	
Potência máxima de saída	345W
Eficiência	17.4%
Tensão na máxima potência	38.2V
Corrente na máxima potência	9.04A
Tensão de circuito aberto	46.3V
Corrente de circuito aberto	9.55A
Características Gerais	
Comprimento	2000mm
Largura	992mm
Altura	40mm

Tendo em mãos a potência total normalizada do sistema, basta dividir pela potência de pico de cada módulo

para que se obtenha um valor aproximado da quantidade total de módulos do sistema. A Equação que dá esta quantidade é:

$$Ps / Pm = 3,27 \text{ kWp} / (0,345 \text{ kWp}) = 9,47.$$

Como não é possível usar uma fração de módulo, arredonda-se o valor para o inteiro mais próximo. Para este caso então, o sistema contaria com 10 módulos TSM-DE14H-345W.

A potência pico do sistema nada mais é o número inteiro de módulos multiplicado pela potência destes módulos assim como demonstrado na equação

$$Pm * 10 = 0,345 \text{ kWp} * 10 =$$

3,45kWp. Usando este valor pico como base, podemos escolher a Unidade de Condicionamento de Potência que melhor preencha as características necessárias para o perfeito funcionamento do sistema e assim a partir das características de máxima potência, tensão máxima e corrente máxima pode-se escolher adequadamente. Geralmente, a escolha do inversor está condicionada à disponibilidade comercial dos fornecedores destes equipamentos, mas em determinados casos pode se levar em conta a preferência do cliente pela marca e modelo. Para o sistema descrito foi utilizado o inversor da marca Fronius modelo Primo 3.0-1 com potência nominal de saída de 3kW. As características técnicas do inversor estão descritas abaixo:

Características Inversor Fronius Primo 3.0-1	
Entrada (CC)	
Tensão máxima	1000V
Tensão de ativação	80V
Potência nominal	3000W
Corrente máxima	12A
Corrente máxima de curto circuito	18A
Saída (CA)	
Conexão na rede	Monofásico
Potência nominal	3000 W

Potência máxima	3000 VA
Tensão nominal da rede	220/230 V
Corrente máxima	13 A
Frequência nominal	45 - 65 Hz
Fator de potência	0,85
Eficiência	98 %
Características Gerais	
Comprimento	204 mm
Largura	431 mm
Altura	645 mm
Massa	21,5 kg

Para o sistema 1, com seus 10 módulos, a distribuição foi feita de forma igual nas duas entradas de MPPT disponíveis para o inversor, com 5 módulos em cada série. Desta forma, se tem um melhor aproveitamento da capacidade do inversor e um balanceamento entre as séries fotovoltaicas.

Para o cálculo teórico da geração esperada será utilizada a irradiação solar média diária (Irr), a eficiência de conversão de energia solar em energia elétrica dos módulos utilizados (n) e a taxa de desempenho (TD). A irradiação solar média diária (Irr) desta instalação é aquela exibida na tabela que aponta o valor de 5,34 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Para a eficiência de conversão, ao consultarmos o datasheet dos módulos Trina Solar TSM-DE14H-345W tem-se que a sua eficiência (n) é de 17,4%. A área ocupada por esses 10 módulos é de 19,84 m<sup>2</sup> sendo 1,984m<sup>2</sup> a área unitária de cada módulo. Desta forma, inserindo essas especificações nas equações:

$$ESOL = Irr * Dias \text{ no ano} \\ * \text{Área de módulos} \\ ESOL = 5340 \text{ Wh/m}^2 \cdot dia \\ * 365 \text{ dias} * 19,84 \text{ m}^2 \\ = 38670 \text{ kWh/ano}$$

Tem-se assim a energia total disponível através da irradiação solar ESOL encontrada. Com base nessa, e levando-se em conta a eficiência (n) encontra-se a energia produzida pela superfície dos módulos, através das equações:

$$EELÉTRICA = ESOL * n \\ EELÉTRICA = 38670 \text{ kWh/ano} \\ * 0,1740 \\ = 6728 \text{ kWh/ano}$$

Aplicando-se a Taxa de Desempenho (TD) utilizada inicialmente e multiplicando-se a EELÉTRICA encontrada, obtém-se a energia real estimada Ereal deste:

$$Ereal = 6728 \text{ kWh/ano} * 0,70 = \\ 4709,6 \text{ kWh/ano}''$$

Com o intuito de obter dados para uma comparação entre os valores simulados e os valores de geração reais necessitam-se realizar os cálculos para a previsão de produção mensal. Para tal serão utilizadas as equações, baseando-se nos dados mensais de irradiação citados anteriormente.

$$Esol = 5350 \text{ Wh/m}^2 * 30 \text{ dias} \\ * 19,84 \text{ m}^2 \\ = 3184,32 \text{ kWh/mes} \\ Eeletrica = 3184,32 \text{ kWh/mes} \\ * 0,1740 \\ = 554,07 \text{ kWh/mes} \\ Ereal = 554,07 \text{ kWh/mes} * 0,7 \\ = 387,85 \text{ kWh/mes}$$

As contas feitas através das equações acima foram calculadas tomando como base a irradiação no mês de janeiro e foram feitas para todos os meses subsequentes. Após a obtenção dos dados de energia, será feita a comparação mês a mês com os valores encontrados pelo PVSyst ®. Ao se fazer tais cálculos obtém-se os valores expressados na tabela abaixo.

MÊS	Geração esperada
JAN	387,85
FEV	422,65
MAR	399,45
ABR	374,08
MAI	350,88
JUN	363,20
JUL	384,23
AGO	428,45
SET	441,50
OUT	382,78
NOV	346,53

DEZ	359,58
-----	--------

De forma a validar e comparar os cálculos feitos na seção anterior, utilizou-se de um programa amplamente aplicado no mercado de energia solar mundial, PVSyst®, o qual pode ser utilizado para a simulação das condições de operação e de geração de sistemas fotovoltaicos dos mais simples até os mais complexos. O PVSyst® elimina a subjetividade da etapa de se escolher uma Taxa de Desempenho para o sistema, assim como é feito no cálculo manual, uma vez que realiza os cálculos das diversas perdas possíveis do sistema já citadas. É possível alterar o Ageing dos módulos, ou seja, fazer as simulações já considerando um determinado envelhecimento dos módulos. Também é possível alterar a degradação anual dos módulos. É possível, ainda, alterar o Thermal parameter do sistema. Altera-se um fator térmico que depende de radiação e velocidade dos ventos no local de instalação da usina. Há ainda a possibilidade de se alterar as perdas ôhmicas, que dependem da seção e comprimento dos condutores utilizados. Para o sistema em questão foram utilizadas as perdas ôhmicas de 1,5%, perdas por sujidade de 10% e perdas por mismatch de 2%.

Com o propósito de encontrar os resultados mais fidedignos, os parâmetros de simulação como desvio azimutal, orientação, irradiação, entre outros, foram inseridos como parâmetros para o dimensionamento do sistema. A energia prevista através da simulação a ser injetada na unidade consumidora e as taxas de desempenho encontradas tabela abaixo

MÊS	Geração simulada
JAN	372,9
FEV	353,1
MAR	376,1
ABR	364,8

MAI	384,8
JUN	391,5
JUL	415,9
AGO	448,4
SET	415,1
OUT	393,7
NOV	341,6
DEZ	361,1

O sistema de monitoramento Fronius Solarweb ® é uma ferramenta online de visualização de dados coletados pelo datalogger da UCP. O Solarweb possui em sua nuvem de dados, os registros de geração do sistema desde a sua instalação, tendo a disponibilidade a produção diária, mensal ou anual. Para coletar os dados de geração do sistema durante um extenso período de análise, para que pudessem ser comparados com as simulações feitas com o auxílio do PVSyst®. Para fins de comparação com os outros sistemas ainda a serem discutidos, foram extraídos do Solarweb os registros de geração mensal de junho de 2022 a maio de 2023, descritos na tabela abaixo.

MÊS	Geração medida
JUN/22	360,58
JUL/22	377,54
AGO/22	365
SET/22	402,34
OUT/22	400,95
NOV/22	344,83
DEZ/22	329,92
JAN/23	378,43
FEV/23	377,97
MAR/23	374,45
ABR/23	327,23
MAIO/23	400,71

Agora, de posse dos resultados dos cálculos teóricos, da simulação e dos resultados reais, pode-se comparar esses dados. A tabela mostra os números de geração para cada categoria de um ano de geração.

Mês	Calculado	Simulado	Medido
JUN/22	363,17	391,5	360,58
JUL/22	384,20	415,9	377,54
AGO/22	428,42	448,4	365
SET/22	441,46	415,1	402,34

OUT/22	382,75	393,7	400,95
NOV/22	346,50	341,6	344,83
DEZ/22	359,55	361,1	329,92
JAN/23	387,82	372,9	378,43
FEV/23	422,62	353,1	377,97
MAR/23	399,42	376,1	374,45
ABR/23	374,05	364,8	327,23
MAI/23	350,85	384,8	400,71
ANUAL	4640,81	4619,00	4439,95

Comparando os dados encontrados, pode-se observar que os resultados de geração calculados, simulados e medidos foram muito próximos para o período. Sendo o resultado calculado apenas 4,32% maior do que aquele obtido via medição real, e o simulado apenas 3,87% maior do que o medido. Uma diferença menor ou igual a 5% nos resultados calculados e simulados daqueles resultados encontrados via medição, mostra um acerto no método tanto para o cálculo quanto para as escolhas nos parâmetros de simulação, uma vez que essa é uma disparidade ínfima quando se trata de resultados de geração de energia anuais.

#### 4.2. Sistema 2

O local de instalação da usina solar fotovoltaica representada pelo Sistema 2 é uma residência localizada no Lago Norte, Brasília-DF. Para haver maior aproveitamento do recurso solar neste projeto, foi escolhido o telhado que deságua mais ao norte. O telhado tem uma inclinação de, aproximadamente, 15° com o horizonte e orientação azimutal de 0°, com 4 placas vertical e 4 horizontal. Além disso, a área necessária para instalar é de cerca de 19m<sup>2</sup>. Esse sistema consome na média de 480kWh mensal.

Foi utilizado a mesma tabela do sistema 1, que foi retirada do SunData para os dados de irradiação.

Com isso, ao utilizar as equações vistas anteriormente, temos

$$Cd = (480kWh) / (30 dias) =$$

16 kWh/dia.

$$Pa = Cd / HSP = (16 kWh / dia) / (5,34 horas/dia) = 2,99 kWp.$$

A Taxa de Desempenho, discutida anteriormente, possui valores típicos que variam entre 0,7 e 0,8 (70% a 80%). Para o dimensionamento do sistema 1 foi utilizada a taxa de desempenho com o valor de 0,75 por se considerar que este projeto teria um alto rendimento, com 4 módulos voltados pro Norte e 4 módulos voltados pro Leste. Este valor foi utilizado na prática para dimensionar o sistema instalado neste telhado e o projeto sendo executado com base neste cálculo. Assim, a Potência de Sistema Ps necessária para suprir o consumo compensável de energia elétrica da UC fica como na equação a seguir:

$$Ps = Pa / TD = 2,99kWp / 0,75 = 3,99 kWp.$$

A escolha dos módulos para este projeto foi feita com base na disponibilidade do fornecedor e exigência do cliente pela marca, desta forma, foi escolhido o módulo Sunova Solar HI-MILO SS-505-66MTF, com 505 Wp, cujas especificações técnicas são:

Características Módulo STC	
Potência máxima de saída	505W
Eficiência	21,27%
Tensão na máxima potência	37,48V
Corrente na máxima potência	13,48A
Tensão de circuito aberto	45,52V
Corrente de circuito aberto	13,94A
Características Gerais	
Comprimento	2094mm
Largura	1134mm
Altura	35mm

pico de cada módulo para que se obtenha um valor aproximado da quantidade total de módulos do sistema. A Equação que dá esta quantidade é:

$$\frac{Pa}{Pm} = 3,99kWp / (0,505 kWp) = 7,91.$$

Como não é possível usar uma fração de módulo, arredonda-se o valor para o inteiro mais próximo. Para este caso então, o sistema contaria com 8 módulos SS-505-66MTF.

A potência pico do sistema nada mais é o número inteiro de módulos multiplicado pela potência destes módulos assim como demonstrado na equação

$$P_m * 8 = 0,505kW_p * 8 =$$

4,04Wp. Usando este valor pico como base, podemos escolher a Unidade de Condicionamento de Potência que melhor preencha as características necessárias para o perfeito funcionamento do sistema e assim a partir das características de máxima potência, tensão máxima e corrente máxima pode-se escolher adequadamente. Geralmente, a escolha do inversor está condicionada à disponibilidade comercial dos fornecedores destes equipamentos, mas em determinados casos pode se levar em conta a preferência do cliente pela marca e modelo. Para o sistema descrito foram utilizados 2 microinversores da marca Hoymiles modelo HM-1500 com potência nominal de saída de 1,5kW cada. As características técnicas do inversor estão descritas abaixo:

Características Microinversor Hoymiles HM1500	
Entrada (CC)	
Tensão máxima	60V
Tensão de ativação	22V
Potência nominal	1500W
Corrente máxima	4x11,5A
Corrente máxima de curto circuito	4x15A
Saída (CA)	
Conexão na rede	Monofásico
Potência nominal	1500W
Potência máxima	1500W
Tensão nominal da rede	220/230/240V
Corrente máxima	6.82/6.52/6.25
Frequência nominal	50/45–55Hz ou 60/55–65Hz

Fator de potência	> 0,99
Eficiência	99,8%
Características Gerais	
Comprimento	33mm
Largura	280mm
Altura	176mm
Massa	3,75kg

Para o sistema 2, com seus 8 módulos, a distribuição foi feita a ficar 1 modulo por entrada do microinversor. Totalizando assim, 4 módulos por microinversor, sendo 2 módulos por MPPT. Desta forma, se tem um melhor aproveitamento da capacidade do inversor e um balanceamento entre as séries fotovoltaicas.

Para o cálculo teórico da geração esperada será utilizada a irradiação solar média diária (Irr), a eficiência de conversão de energia solar em energia elétrica dos módulos utilizados (n) e a taxa de desempenho (TD). A irradiação solar média diária (Irr) desta instalação é aquela exibida na tabela que aponta o valor de 5,34 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Para a eficiência de conversão, ao consultarmos o datasheet dos módulos Trina Solar SS-505-66MTF tem-se que a sua eficiência (n) é de 21,27%. A área ocupada por esses 8 módulos é de 18,99 m<sup>2</sup> sendo 2,37m<sup>2</sup> a área unitária de cada módulo. Desta forma, inserindo essas especificações nas equações

$$ESOL = Irr * Dias \text{ no ano}$$

$$* \text{Área de módulos}$$

$$ESOL = 5340 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$$

$$* 365 \text{ dias} * 18,99 \text{ m}^2$$

$$= 37013 \text{ kWh/ano}$$

Tem-se assim a energia total disponível através da irradiação solar ESOL encontrada. Com base nessa, e levando-se em conta a eficiência (n) encontra-se a energia produzida pela superfície dos módulos, através das equações:

$$EELÉTRICA = ESOL * n$$

$$\begin{aligned} EELÉTRICA &= 37013 \text{ kWh/ano} \\ &* 0,2127 \\ &= 7872 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Aplicando-se a Taxa de Desempenho (TD) utilizada inicialmente e multiplicando-se a EELÉTRICA encontrada, obtém-se a energia real estimada Ereal deste:

$$\begin{aligned} Ereal &= 7872 \text{ M} = \text{kWh/ano} * \\ &0,75 = 5904 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Com o intuito de obter dados para uma comparação entre os valores simulados e os valores de geração reais necessitam-se realizar os cálculos para a previsão de produção mensal. Para tal serão utilizadas as equações, baseando-se nos dados mensais de irradiação citados anteriormente.

$$\begin{aligned} Esol &= 5350 \text{ Wh/m}^2 * 30 \text{ dias} \\ &* 18,99 \text{ m}^2 \\ &= 3047,89 \text{ kWh/mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Eletrica &= 3184,32 \text{ kWh/mes} \\ &* 0,2172 \\ &= 662,00 \text{ kWh/mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ereal &= 662,00 \text{ kWh/mes} * 0,75 \\ &= 529,6 \text{ kWh/mes} \end{aligned}$$

As contas feitas através das equações acima foram calculadas tomando como base a irradiação no mês de janeiro e devem ser feitas para todos os meses subsequentes. Após a obtenção dos dados de energia, será feita a comparação mês a mês com os valores encontrados pelo PVSyst ®. Ao se fazer tais cálculos obtém-se os valores expressados na tabela abaixo.

MÊS	Geração esperada
JAN	496,48
FEV	541,02
MAR	511,33
ABR	478,85
MAI	449,15
JUN	464,93
JUL	491,84
AGO	548,45
SET	565,15
OUT	489,98
NOV	443,58
DEZ	460,29

De forma a validar e comparar os cálculos feitos na seção anterior, utilizou-se de um programa amplamente aplicado no mercado de energia solar mundial, PVSyst®, o qual pode ser utilizado para a simulação das condições de operação e de geração de sistemas fotovoltaicos dos mais simples até os mais complexos. O PVSyst® elimina a subjetividade da etapa de se escolher uma Taxa de Desempenho para o sistema, assim como é feito no cálculo manual, uma vez que realiza os cálculos das diversas perdas possíveis do sistema já citadas. É possível alterar o Ageing dos módulos, ou seja, fazer as simulações já considerando um determinado envelhecimento dos módulos. Também é possível alterar a degradação anual dos módulos. É possível, ainda, alterar o Thermal parameter do sistema. Altera-se um fator térmico que depende de radiação e velocidade dos ventos no local de instalação da usina. Há ainda a possibilidade de se alterar as perdas ôhmicas, que dependem da seção e comprimento dos condutores utilizados. Para o sistema em questão foram utilizadas as perdas ôhmicas de 1,5%, perdas por sujidade de 10% e perdas por mismatch de 2%.

Como no sistema anterior, foram usados os parâmetros de desvio azimutal, orientação, irradiação, entre outros, a propósito de encontrar os resultados mais fidedignos. A energia prevista através da simulação a ser injetada na unidade consumidora e as taxas de desempenho encontradas tabela abaixo

MÊS	Geração simulada
JAN	478,3
FEV	457
MAR	480
ABR	461,9
MAI	469,7
JUN	470,7

JUL	503,5
AGO	559,4
SET	539,8
OUT	511,7
NOV	449,7
DEZ	472,1

O sistema de monitoramento S-miles Cloud Hoymiles ® é uma ferramenta online de visualização de dados coletados pelo datalogger da UCP. S-miles possui em sua nuvem de dados, os registros de geração do sistema desde a sua instalação, tendo a disponibilidade a produção diária, mensal ou anual. Para coletar os dados de geração do sistema durante um extenso período de análise, para que pudessem ser comparados com as simulações feitas com o auxílio do PVSyst®. Para fins de comparação com os outros sistemas ainda a serem discutidos, foram extraídos do S-miles os registros de geração mensal de junho de 2022 a maio de 2023, descritos na tabela abaixo.

MÊS	Geração medida
JUN/22	490,47
JUL/22	534,45
AGO/22	522,18
SET/22	486,56
OUT/22	539,09
NOV/22	429,76
DEZ/22	374,15
JAN/23	502,71
FEV/23	482,59
MAR/23	488,6
ABR/23	407,75
MAIO/23	465,08

Agora, de posse dos resultados dos cálculos teóricos, da simulação e dos resultados reais, pode-se comparar esses dados. A tabela mostra os números de geração para cada categoria de um ano de geração.

Mês	Calculado	Simulado	Medido
JUN/22	464,93	470,7	490,47
JUL/22	491,84	503,5	534,45
AGO/22	548,45	559,4	522,18
SET/22	565,15	539,8	486,56
OUT/22	489,98	511,7	539,09
NOV/22	443,58	449,7	429,76

DEZ/22	460,29	472,1	374,15
JAN/23	496,48	478,3	502,71
FEV/23	541,02	457	482,59
MAR/23	511,33	480	488,6
ABR/23	478,85	461,9	407,75
MAI/23	449,15	469,7	465,08
ANUAL	5941,06	5853,8	5723,39

Comparando os dados obtidos, podem-se observar novamente que os resultados de geração calculado, simulado e medidos foram muito próximos para o período. Sendo o resultado calculado apenas 3,66% maior do que aquele obtido via medição real, e o simulado apenas 2,27% maior do que o medido. Uma diferença menor ou igual a 5% nos resultados calculados e simulados daqueles resultados encontrados via medição, mostra um acerto no método tanto para o cálculo quanto para as escolhas nos parâmetros de simulação, visto que essa é uma disparidade ínfima quando se trata de resultados de geração de energia anuais.

#### 4.3. COMPARAÇÕES E CONCLUSÕES DOS SISTEMAS ANALISADOS

Os dois sistemas analisados possuem características diferentes que influenciam na quantidade de energia gerada. Foi possível analisar neste espaço amostral, 2 modelos diferentes de módulos fotovoltaicos de diferentes potências e fabricantes, 2 modelos de inversor, sendo um inversor e outro microinversor de diferentes fabricantes, diferentes orientações azimutais, diferentes localizações, porém mesma potência de pico e desta forma foram alcançados diferentes resultados. De forma a poder comparar os resultados das 2 unidades as quais apresentam potências de pico distintas, normaliza-se a geração obtida em kWh com relação a potência total de pico do sistema em kWp, como pode ser mostrado na

equação a seguir.

$$\text{Geração normalizada} = \frac{(\text{geração obtida})}{(\text{potência pico do sistema})}$$

Através dessa normalização, pode-se comparar a capacidade de geração de energia entre sistemas fotovoltaicos de diferentes potências e analisar os possíveis fatores capazes de gerar discrepâncias.

Sistema 1 - 3 kWp			
	Calculado	Simulado	Medido
Geração anual	4640,81	4619,00	4439,95
Geração normalizada	1546,93	1539,66	1479,98
Sistema 2 - 3 kWp			
	Calculado	Simulado	Medido
Geração anual	5941,06	5853,8	5723,39
Geração normalizada	1980,35	1951,27	1907,80

A tabela acima indica as produções normalizadas dos 2 sistemas estudados. Quanto maior o valor de geração normalizada, maior é o rendimento de um sistema em relação aos demais. Pode-se ver que temos resultados diferentes mesmo se usando um inversor e 2 microinversores totalizando a potência, principalmente pela maior potência e eficiência por módulo. O sistema 1 usa 10 módulos de 345 Wp, totalizando 3,45 kWp, já o sistema 2 utiliza 8 modelos de 505 Wp, totalizando 4,04 kWp. Mesmo os 2 se aproveitando do norte azimuthal, sendo o primeiro sistema instalado a 30° oeste, e o segundo sistema utilizando 4 módulos a 0° em modo retrato, e mais 4 módulos em modo paisagem.

Como já visto no decorrer deste trabalho, são vários os fatores que

influenciam na geração de um sistema fotovoltaico, porém ao analisarmos as diferenças de projeto dos dois sistemas, o fator que mais se diferencia e pode explicar um melhor resultado de geração do sistema 2 quando comparado ao sistema 1, é o avanço de tecnologia dos módulos fotovoltaicos. Provavelmente pelo fato da orientação das placas estarem completamente ao norte, favorece também isso, sendo que ao inclinar o azimuthal delas, perde-se um pouco de eficiência, que por mais que não tenha sido considerada a orientação na equação de cálculo teórico, a taxa de desempenho maior foi escolhida de forma a representar este fato. Essa orientação azimuthal, gera um maior aproveitamento da irradiação solar ao longo do dia e pode explicar um melhor desempenho desta instalação. Outro fator que também pode influenciar é a qualidade e quantidade da limpeza dos módulos, visto que a orientação dada foi a limpeza trimestral e tal fato não foi fiscalizado e pode influenciar na quantidade de deposição de poeira sobre os módulos reduzindo assim o seu desempenho. Fatores térmicos podem também ser uma possível fonte de diferenças entre os resultados, visto que para cada uma das instalações, a cobertura do telhado é de um material diferente tendo um diferente coeficiente de absorção térmica e que pode levar a diferentes temperaturas de operação. Altas temperaturas reduzem a capacidade de geração dos módulos, podendo assim influenciar no resultado final de geração.

## 5. Conclusão

A intensidade do sol varia de acordo com as estações do ano por causa do movimento de translação da terra, esse movimento dura 365 dias e 6 horas. No

verão e primavera os dias são mais longos e temos uma maior quantidade de raios solares incidindo sobre a terra e no inverno e outono, os dias são mais curtos e uma menor incidência de luz solar. O sol fornece uma quantidade bem elevada de energia, é tanta que não conseguimos utilizar toda ela. Além disso, atende os objetivos do desenvolvimento sustentável estabelecidos pela Conference Of Parties (COP), na Agenda 2030.

O Brasil possui uma das posições mais privilegiadas do planeta em relação ao potencial de geração de energia que provém do sol. É importante ressaltar que a utilização de energias renováveis tais quais os sistemas que estão sendo tratados no presente trabalho são muito importantes para a sustentabilidade de nosso planeta. Até 08 de dezembro de 2020, o setor de energia solar no Brasil possuía 344.608 micros e mini sistemas fotovoltaicos instalados que, junto às usinas solares, somavam mais de 7 GW de capacidade operacional. A estimativa do governo aponta para 22 GW de energia solar distribuída no Brasil até 2030 ([www.bluesol.com.br](http://www.bluesol.com.br)).

É importante que os sistemas instalados tenham seus desempenhos avaliados para servirem de modelo para novas instalações, evitando-se o cometimento de erros em projetos futuros. Com a análise feita neste trabalho ficou evidente que houve uma disparidade bem pequena nos valores calculados, simulados e medidos, o que demonstra que os métodos utilizados para fazer os cálculos teóricos e de simulação estão com os parâmetros de acordo com a realidade. Fundamentado nos resultados alcançados ao longo do trabalho pode-se afirmar que, ao se comparar o dimensionamento teórico com uma taxa de desempenho de 70% e 80%, os resultados foram bem próximos dos

valores medidos na prática com a TD de 75% e 80%. Além disso, quando comparamos os resultados dos dois sistemas analisados, pode se observar uma disparidade no resultado de geração das usinas, sendo o Sistema 2 aquele com o melhor desempenho de geração normalizada. Isso se deve principalmente pelos módulos mais eficientes e de maior  $W_p$  instalados nesse sistema. Outros fatores como o comprimento dos cabos e as corretas conexões entre os componentes do sistema podem também influenciar neste resultado além da orientação azimutal mais ao norte do Sistema 2.

## 5.1. SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO

Para a continuação dos estudos e aperfeiçoamento de trabalhos futuros apresentamos a seguir algumas sugestões:

- Análise de desempenho de uma unidade do grupo A comercial, industrial;
- Análise de desempenho de um espaço amostral maior de unidades consumidoras com esta tecnologia instalada, correlacionando-as;
- Análise de desempenho de usinas solares com um maior tempo de funcionamento;
- Análise de usinas de minigeração de forma a comparar se as disparidades observadas são similares às de usinas de microgeração;
- Análise econômica para sistemas residenciais, comerciais e industriais, considerando possíveis incentivos fiscais.

## 5.2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

Frontin, Sergio de Oliveira, Antônio Cesar Pinho Brasil Jr., Maria Tereza Diniz Carneiro, e Nara

Rúbia Dante de Godoy. Usina Fotovoltaica Jaíba Solar - Planejamento e Engenharia. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora LTDA, 2017.

DGS - German Solar Energy Society. Planning and Installing Photovoltaic Systems. 2013. EPE. "Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira." —. "Balanço Energético Nacional 2020." 2020. (acesso em 08 de julho de 2020).

OLIVEIRA JUNIOR, EDSON SOUSA DE; ANÁLISE DA GERAÇÃO DE ENERGIA EM UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NA CATEGORIA DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM BRASÍLIA

MELO, Fernando Cardoso. Projeto e análise de desempenho de um Sistema fotovoltaico conectado à rede Elétrica de baixa tensão em conformidade com a resolução normativa 482 da Aneel. 2014. Dissertação (Mestrado) - UFU, [S. l.], 2014.

PEREIRA, Enio Bueno et al, (ed.). Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2. ed. [S. l.: s. n.], 2017. 1 Atlas

COUTINHO, Carlos Roberto et al. "Efeito do sombreamento em módulos fotovoltaicos". VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, [S. l.], p. 8, 4 abr. 2016

ARAÚJO, ANA JÚLIA NUNES DE; RANK, NARAH IUATA; BUENO, TALITA BEZERRA DE ARAUJO. "Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba". Curitiba. 2016. TCC (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2016.

HENRIQUE GIRÃO IELEN, IGOR Análise de viabilidade técnico-econômica de sistema fotovoltaico conectado à rede para o jardim Botânico de Brasília com foco na conscientização ambiental utilizando fontes renováveis de energia 2019

GARCIA, THAÍS DIAS Análise Técnica E Econômica De Geração Distribuída Fotovoltaica Residencial Conectada À Rede De Distribuição

SILVA, CAIO MARTINS MOREIRA Estudo da viabilidade técnica-financeira na criação de um investimento em renda fixa baseado em uma usina fotovoltaica. [Distrito Federal] (2018)

ANEEL —. "Resolução Normativa no 482." 2012. <http://www2.aneel.gov.br> (acesso em 7 de maio de 2021).

—. "Resolução Normativa no 687." 2015. <http://www2.aneel.gov.br> (acesso em 17 de maio de 2021).

[https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2020\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf) (IEA 2021)

[https://www.iea.org/data-andstatistics/databrowser?country=WORLD&fuel=Sustainable%20Development%20Goals&indicator=SDG72mod\\_ern](https://www.iea.org/data-andstatistics/databrowser?country=WORLD&fuel=Sustainable%20Development%20Goals&indicator=SDG72mod_ern) [ABNT NBR 10899:2013].

ABNT. NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto. Rio de Janeiro, 2019.

(CEPEL- CRESESB,2014) PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (org.). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. [S. l.: s. n.], 2014.

VILLALVA, Marcelo - UNICAMP 14 de julho de 2019

<https://canalsolar.com.br/entenda-os-modulos-solares-bifaciais/>

[www.bluesol.com.br](http://www.bluesol.com.br)

[www.todamatéria.com.br](http://www.todamatéria.com.br) (acessado em 20/05/2023)

<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>

[www.opussolar.com.br](http://www.opussolar.com.br).

MAIS RETORNO – Portal de propriedade da MR Educação & Tecnologia Ltda (CNPJ/MF nº 28373.825/0001-70, fontes públicas como a CVM

(<https://mundoeducação.uol.com.br> publicado por Paloma Guitarrara, em 29 de jul. de 2022)