

LUCAS ELIAS FARIA

**Análise da geração de energia em sistemas  
fotovoltaicos de microgeração com diferentes  
orientações dos módulos**

Viçosa, MG

2022

LUCAS ELIAS FARIA

**Análise da geração de energia em sistemas  
fotovoltaicos de microgeração com diferentes  
orientações dos módulos**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira

Viçosa, MG

2022

**LUCAS ELIAS FARIA**

**Análise da eficiência e geração de energia em sistemas fotovoltaicos com diferentes orientações dos módulos**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

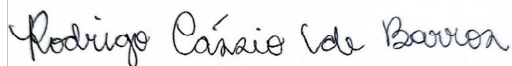
Aprovada em 07 de Dezembro de 2022.

**COMISSÃO EXAMINADORA**



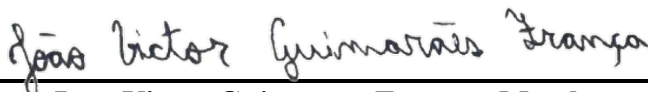
---

**Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira- Orientador**  
**Universidade Federal de Viçosa**



---

**Prof. Dr. Rodrigo Cássio de Barros - Avaliador**  
**Universidade Federal de Minas Gerais**



---

**Eng. Joao Victor Guimaraes Franca - Membro**  
**Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais**

*Este trabalho é dedicado à todos aqueles que estudam e se dedicam para se tornarem  
melhores profissionais.*

# Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados à todos os professores que fizeram parte desse ciclo, contribuindo para o meu aprendizado pessoal e profissional. Dedico ainda aos meus pais, Antônio Elias Junior e Adriana Ferreira de Faria e a minha namorada Huli Candian. Agradecimentos especiais vão para a SLX Engenharia e à todos os funcionários, que tornaram possível a realização deste trabalho. Aos meus colegas de curso, muito obrigado pelas conversas, apoio e estudos coletivos.

*“Se você acha que pode ou não, você está certo.” (Henry Ford)*

# Resumo

Em um sistema fotovoltaico, muitos são os fatores determinantes para se estimar a geração de energia, as perdas do sistema e a viabilidade técnica e financeira do projeto. Nesse sentido, em relação à estimativa de geração de energia do sistema, as características como orientação do telhado do local de instalação dos módulos, são importantes para o cálculo de perda e eficiência. No hemisfério sul, diversas literaturas apontam que a melhor orientação para os módulos é com um ângulo azimutal próximo de zero, e com o ângulo de inclinação dos módulos similar ao ângulo da latitude do local. No entanto, em sua grande maioria, os locais escolhidos para a implantação desses sistemas não foram projetados para a instalação de uma usina fotovoltaica, com isso é comum que tanto a orientação quanto a inclinação não sejam ideais. Dessa forma, em alguns casos, se faz necessário compensar as perdas de geração através de um pequeno aumento no número de módulos. Porém, em casos que haja uma limitação, seja ela física ou da parte elétrica do local, uma estimativa da produção de energia mediante as características do local, pode ser feita para análise de viabilidade financeira do projeto. De acordo com o exposto, este projeto tem por objetivo geral analisar a geração de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos de microgeração com diferentes orientações dos módulos. Para tal, foram selecionadas 12 usinas divididas em 3 grupos com orientações diferentes, onde foram analisados a geração de energia por módulos e o fator de produtividade de cada usina. Os resultados obtidos demonstram que usinas instaladas em telhados com orientação para o Leste, Oeste, ou sem inclinação, podem apresentar uma produção de energia entre 12% e 19% menor que instalações em telhados inclinados e orientados para o Norte.

**Palavras-chaves:** energia fotovoltaica; geração de energia; análise de eficiência, orientação dos módulos.

# Lista de figuras

Figura 1 – Diagrama Multifilar básico de uma usina fotovoltaica de microgeração distribuída. Fonte: Acervo SLX Engenharia. . . . .	13
Figura 2 – Simetria Polar de perdas pada a cidade de Viçosa-MG Fonte: Gesep . .	17
Figura 3 – Usina 1. . . . .	19
Figura 4 – Usina 2. . . . .	19
Figura 5 – Usina 3. . . . .	19
Figura 6 – Usina 4. . . . .	19
Figura 7 – Usina 5. . . . .	20
Figura 8 – Usina 6. . . . .	20
Figura 9 – Usina 7. . . . .	20
Figura 10 – Usina 8. . . . .	20
Figura 11 – Usina 9. . . . .	21
Figura 12 – Usina 10. . . . .	21
Figura 13 – Usina 11. . . . .	21
Figura 14 – Usina 12. . . . .	21
Figura 15 – Curvas de geração média de energia por módulo das usinas. . . . .	26
Figura 16 – Média de geração mensal por módulo de cada grupo. . . . .	27
Figura 17 – Fator de produtividade de cada usina. . . . .	28
Figura 18 – <i>Datasheet</i> inversores <i>Growatt MIN 2500 6000TL-X</i> . . . . .	33
Figura 19 – <i>Datasheet</i> inversores <i>Growatt MIN 7000 10000TL-X</i> . . . . .	34
Figura 20 – <i>Datasheet</i> módulos <i>DAH SOLAR - DHM-72X10/BF 520 550W</i> . . . . .	35



# Lista de tabelas

Tabela 1 – Parâmetros de classificação das usinas e dos grupos. . . . .	17
Tabela 2 – Dados e classificações de cada usina. . . . .	18
Tabela 3 – Geração de energia mensal das usinas com orientação classificada como Norte. . . . .	23
Tabela 4 – Geração de energia mensal das usinas com orientação classificada como Norte. . . . .	23
Tabela 5 – Geração de energia mensal das usinas com orientação classificada como Leste ou Oeste. . . . .	24
Tabela 6 – Geração de energia mensal por módulo das usinas com orientação classificada como Leste ou Oeste. . . . .	24
Tabela 7 – Geração de energia mensal das usinas com orientação classificada como plana. . . . .	25
Tabela 8 – Geração de energia mensal por módulo das usinas com orientação classificada como plana. . . . .	25
Tabela 9 – Médias da produção de energia por módulo em cada grupo. . . . .	26
Tabela 10 – Número de módulos de 550 W necessários para atender 4 consumos médios a nível residencial e comercial para cada grupo. . . . .	27
Tabela 11 – Fator de Produtividade de cada usina. . . . .	28
Tabela 12 – Fator de Produtividade de cada grupo. . . . .	28

# Lista de abreviaturas e siglas

kWh	Quilowatt-hora - Unidade de energia
kWp	Quilowatt pico - Potência máxima da usina em condições ideais
FV	Fotovoltaico (a)
FP	Fator de Produtividade
h	Horas
MPPT	Rastreador do Máximo Ponto de Potência - <i>Maximum Power Point Tracker</i>

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Resoluções do Setor</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Projeto de um Sistema Fotovoltaico</b>	<b>12</b>
<b>1.3</b>	<b>Orientações e inclinações de telhados</b>	<b>12</b>
<b>1.4</b>	<b>Perdas em um Sistema Fotovoltaico</b>	<b>14</b>
<b>1.5</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Inversores Fotovoltaico</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Módulos Fotovoltaico</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Geração de energia</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Base de Dados</b>	<b>16</b>
<b>2.5</b>	<b>Monitoramento</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>30</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>31</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>32</b>
	<b>ANEXO A – DATASHEET INVERSORES</b>	<b>33</b>
	<b>ANEXO B – DATASHEET MÓDULOS</b>	<b>35</b>

# 1 Introdução

Com os constantes aumentos na tarifa de energia nos últimos anos, muitos são os brasileiros que tem procurado alternativas para economizar. Assim, enquanto alguns reduzem o tempo de uso de seus eletrodomésticos, outros preferem optar por gerar sua própria energia, o que levou a um avanço de cerca de 21% de usinas solares instaladas no Brasil no ano de 2021, conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (EPE, 2022).

No Brasil, além de usinas de grande porte, sendo instaladas ao longo do país, verifica-se, cada vez mais, pequenos geradores instalados em residências e comércios (TAKIGAWA et al., 2016).

A maioria dos locais onde são instalados esses pequenos geradores, não foram projetados para tal, sem levar em consideração o padrão de entrada de energia, estrutura, área útil, orientação e inclinação do telhado. A quantidade de energia que pode ser produzida por um sistema fotovoltaico depende da irradiação incidente no módulo fotovoltaico, que por sua vez esta relacionada com a latitude da localização do sistema fotovoltaico, o coeficiente de reflexão ao redor do painel, ângulos de inclinação e azimute, eventual sombreamento ou sujeira acumulada, temperatura ambiente e assim por diante (NEMESJ et al., 2017). Sendo assim, entender o impacto real desses fatores, se faz necessário para uma boa avaliação de viabilidade técnica e financeira de um projeto de geração distribuída.

## 1.1 Resoluções do Setor

Em abril de 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa Aneel 482/2012, que permitiu ao consumidor brasileiro gerar sua própria energia e ainda utilizar o sistema de distribuição de energia para injetar a energia excedente na forma de créditos (ANEEL, 2012). Porém, alguns pontos foram revisados no ano de 2015, quando entrou em vigência a revisão dada pela Resolução Normativa 687/2015, onde estabeleceu como principal ponto a divisão entre microgeração distribuída (até 75kW) e minigeração distribuída (acima de 75kW até 5 MW). Além disso, possibilitou ao consumidor fazer o uso da compensação de créditos, abatendo o consumo registrado pela concessionária em kwh/mês com a energia injetada acumulada em meses anteriores, sendo a validade de 60 meses. Ademais, tornou possível enviar durante o mesmo ciclo de leitura, porcentagens do excedente da energia injetada não compensada, para unidades consumidoras pertencentes a um mesmo titular dentro de uma mesma área de concessão, através da modalidade de autoconsumo remoto.(ANEEL, 2015). Por fim, no dia 06 de janeiro de 2022, foi sancionada a Lei Federal 14.300, na qual novas mudanças foram apresentadas, como por exemplo a remuneração do consumidor à concessionária através da parcela Fio B da tarifa de energia, que deixará de

ser compensada em reais. Dessa forma, além dos ICMS de cada estado, o valor em reais do kWh da energia injeta, teria mais um desconto no momento de ser feito a compensação. Porém o Marco Legal da geração distribuída garantiu aos consumidores que já possuem um sistema de geração própria de energia, ou que protocolaram seus projetos até o fim do período de vacância, o direito adquirido de serem tarifados mediante as regras anteriores a Lei 14.300.

## 1.2 Projeto de um Sistema Fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico é composto pelo conjunto de módulos e inversores, além dos quadros de proteção em corrente alternada e em corrente contínua. O dimensionamento a nível de projetos de microgeração, para consumidores do tipo B, são com base no consumo de energia do consumidor, onde pode ser encontrado de forma aproximada a quantidade de módulos considerando a irradiação do local, ângulo dos módulos e azimute onde serão instalados, além de avaliar possíveis pontos de sombreamento. O inversor ou inversores necessários são definidos com base na quantidade e potência dos módulos a serem utilizados e ainda deve levar em conta as informações do padrão de entrada da unidade consumidora, como por exemplo o número de fases, tipo de atendimento e disjuntor geral de entrada.

Na Figura 1 é possível observar um diagrama multifilar básico de um projeto de uma usina fotovoltaica de microgeração distribuída, onde é mostrado como os arranjos dos módulos são conectados nas MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) do Inversor, além de identificar as proteções necessárias do sistema em corrente contínua e alternada, e as seções dos cabeamentos que fazem as conexões.

## 1.3 Orientações e inclinações de telhados

Em relação à orientação de um sistema FV, podemos destacar os ângulos de inclinação e azimute. Sendo o ângulo de inclinação definido como o ângulo entre o plano horizontal e o arranjo fotovoltaico, enquanto o azimute representa a direção de superfície do arranjo (SEDRAOUI et al., 2017). Quando se discute sobre a inclinação e orientação ideal dos módulos fotovoltaicos para a maior geração de energia possível no Brasil, é possível encontrar em várias literaturas que o melhor ângulo azimutal é próximo ou igual a zero, ou seja, com os módulos orientados para o Norte e com inclinação próxima ou igual ao ângulo da latitude (YANG; LU, 2007). Em projetos de usinas instaladas no solo em uma estrutura de fixação própria, é possível regular tanto a inclinação quanto a orientação dos módulos que serão instalados, garantindo assim a maior eficiência possível no projeto. No entanto, a nível de projetos residenciais ou comerciais, muitas das vezes estas usinas serão instaladas no próprio telhado da propriedade, que dificilmente são projetados para receber uma usina solar fotovoltaica. Como as estruturas de fixação dos módulos mantêm

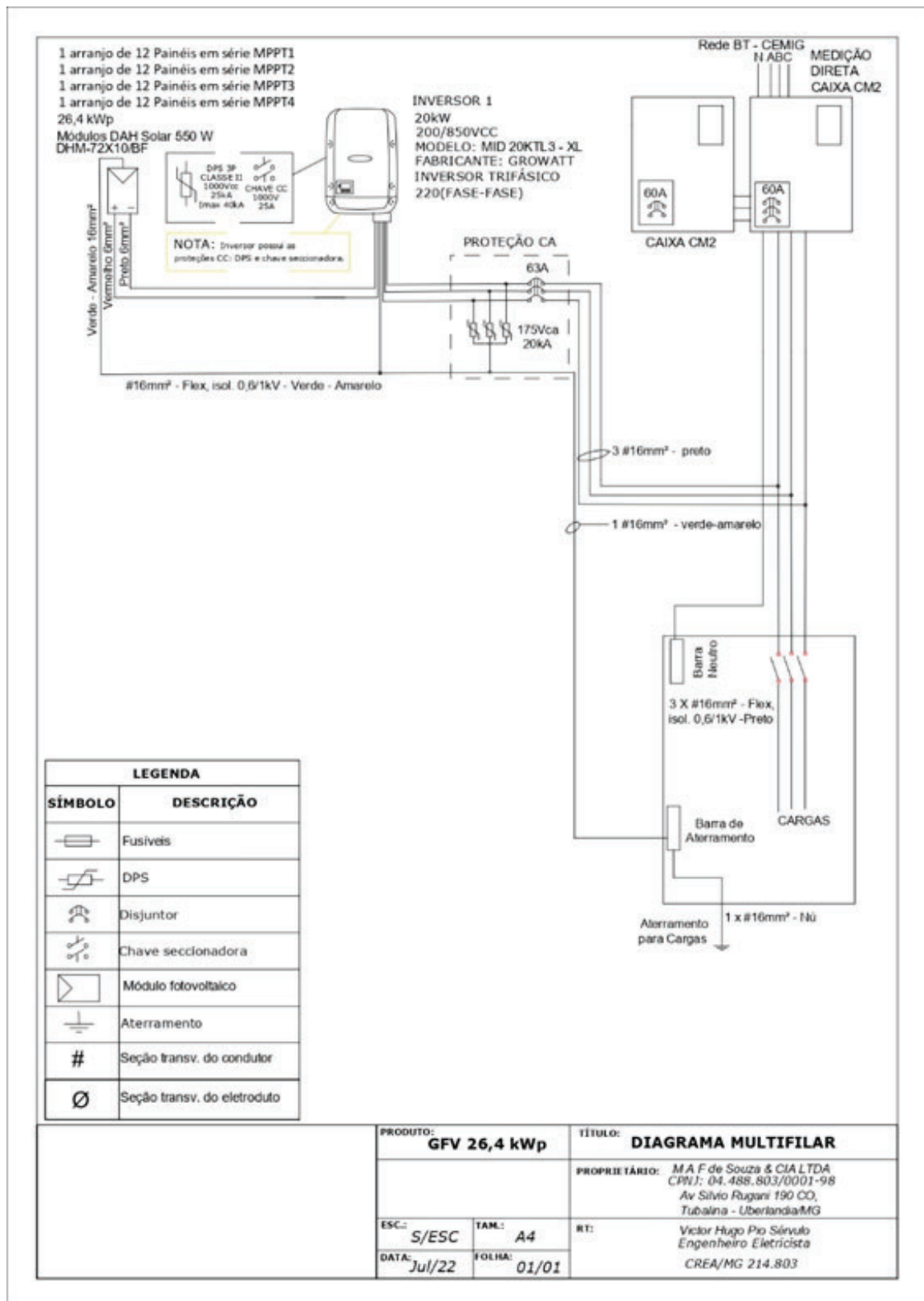


Figura 1 – Diagrama Multifilar básico de uma usina fotovoltaica de microgeração distribuída. Fonte: Acervo SLX Engenharia.

tanto a orientação como a inclinação do telhado, os módulos são instalados conforme a arquitetura do local e podem ter perdas na eficiência e geração de energia. Neste trabalho,

as perdas na geração de energia por conta dos ângulos azimutais e de inclinação serão o foco de avaliação.

## 1.4 Perdas em um Sistema Fotovoltaico

Em sistema fotovoltaico, além do ângulo azimutal e de inclinação dos módulos fotovoltaico, fatores de segunda ordem podem impactar na geração de energia, tais como: Acúmulo de sujeira na superfície dos módulos, pontos de sombreamento, temperatura, *clipping*, *missmatch* e distúrbios na rede elétrica (ZILLES et al., 2016). Além disso, como os inversores fotovoltaicos não possuem eficiência de 100%, é natural que existam perdas no processo de conversão de energia.

Neste trabalho, o foco está em avaliar as possíveis perdas por ângulos azimutais e de inclinação dos módulos, não sendo levado em consideração os fatores de segunda ordem na análise dos dados.

## 1.5 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a produção de energia elétrica de usinas fotovoltaicas em locais cujo telhado não possui orientação ou inclinação ideal. Dessa forma, os objetivos específicos foram definidos como:

- Calcular o valor de geração por módulo de cada usina fotovoltaica, permitindo a comparação entre as instalações;
- Estimar as diferenças na produção de energia por módulo de cada grupo;
- Analisar os Fatores de Produtividade de cada usina fotovoltaica e posteriormente de cada grupo.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Inversores Fotovoltaico

Uma conversão CC-CA da corrente que flui nos módulos fotovoltaicos é necessária para que o sistema seja compatível com o sistema de distribuição de energia nacional, já que a maioria dos sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil, são do tipo *On-Grid*, ou seja, conectados na rede elétrica. Dessa forma, os inversores fotovoltaicos são fundamentais em um sistema fotovoltaico, já que são eles que irão fazer a conversão da corrente contínua para a corrente alternada.

A potência nominal do inversor a ser utilizado em um projeto de uma usina fotovoltaica, deve ser definida de acordo com a quantidade e potência dos módulos que serão instalados. De forma que a as recomendações de potência, tensão e corrente máximas de entrada da MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) não sejam ultrapassadas.

Para geradores fotovoltaicos conectados à rede, é exigido que seus inversores sejam capazes de apenas realizar para geradores fotovoltaicos conectados à rede, é exigido que seus inversores sejam capazes de a conversão entre CC e CA se o sistema estiver efetivamente conectado. Assim, quando há uma interrupção na rede, o inversor é também automaticamente desligado. (COELHO, ).

Neste trabalho, foram utilizados inversores bifásicos de diferentes potências da fabricante *Growatt*, cujo *datasheet* está contido no Anexo A.

### 2.2 Módulos Fotovoltaico

Um módulo fotovoltaico consiste em células fotovoltaicas conectadas em paralelo, onde cada célula é uma junção p-n, em um filme fino que converte os fótons em energia elétrica (PANKOVE, 1975). Durante os últimos anos, os módulos fotovoltaicos passaram por uma evolução significativa, aumentando a eficiência, potência e reduzindo as perdas por pontos de sombreamento. Enquanto em 2016 eram comercializados no Brasil, módulos com potência de 270 W, em 2022 já são comercializados módulos com potência acima de 665 W, o que impacta em um menor número de módulos para uma mesma potência em kWp de uma usina fotovoltaica. Entretanto, os módulos além de aumentarem a eficiência, também possuem área e peso maiores, sendo necessário avaliar o espaço e a estrutura física do local para se definir o modelo e a potência do módulo a ser utilizado.



## 2.3 Geração de energia

Um dos principais pontos em um projeto de uma usina fotovoltaica é definir qual será a geração de energia estimada do sistema, para que os cálculos de economia e retorno do investimento possam ser realizados.

Para o cálculo de geração de energia é bastante comum a utilização de softwares próprios de sistemas fotovoltaicos para calcular a geração de energia estimada de um sistema, ou até mesmo para o dimensionamento dos equipamentos FV a serem utilizados, tais como *PVSystem* ou *PVCase*. A nível de projetos residenciais, ou comerciais de microgeração distribuída, é possível calcular de maneira aproximada a potência de um sistema necessário para atender um consumo médio de energia. De acordo com (PINHO; GALDINO et al., 2014), a potência em kWp de um gerador FV para suprir uma demanda energética é dada por (2.1).

$$P_{FV} = \frac{\frac{E}{TD}}{HSP_{MA}}, \quad (2.1)$$

em que  $P_{FV}$  é potência de pico do gerador FV, em kWp,  $E$  é o consumo diário médio anual da edificação ou fração deste, kWh/dia,  $HSP_{MA}$  é a média diária anual da hora de sol pleno (HSP) incidente no plano do gerador, em h e  $TD$  é a taxa de desempenho, a qual relaciona a eficiência energética total do sistema FV, adimensional.

Dessa forma, encontrada a potência de pico do gerador FV, é necessário definir a potência do módulo a ser utilizado, e assim encontra-se o número de painéis necessários através da relação dada por (2.2).

$$M = \frac{P_{FV}}{P_{Módulo}}, \quad (2.2)$$

em que  $M$  é o número de módulos,  $P_{Módulos}$  é potência de pico do módulo dada pelo fabricante em Wp.

## 2.4 Base de Dados

Serão selecionadas doze (12) usinas fotovoltaicas de microgeração *On-Grid* instaladas na cidade de Divinópolis-MG, com modelos de equipamentos semelhantes, sendo os módulos de 550 Wp de potência da fabricante *DAH Solar*, cujo *datasheet* está inserido no Anexo B, e inversores da fabricante *Growatt*, cujos *datasheets* estão inseridos no Anexo A. Apesar das usinas selecionadas não possuírem a mesma quantidade de módulos e inversores de diferentes potências, será utilizado como índice principal de análise, a geração de energia média por placa e o fator de produtividade de cada sistema. Os projetos selecionados serão divididos pela orientação, em três (3) grupos iguais conforme Tabela 1. Os ângulos azimutais e inclinação dos módulos foram medidas através de aplicativos de celular.

Tabela 1 – Parâmetros de classificação das usinas e dos grupos.

Grupo	Classificação	Ângulo Azimutal	Ângulo de Inclinação
1	Norte	Entre 290 <sup>o</sup> e 45 <sup>o</sup>	Superior a 15 <sup>o</sup>
2	Leste	Entre 65 <sup>o</sup> e 110 <sup>o</sup>	Superior a 15 <sup>o</sup>
3	Oeste	Entre 245 <sup>o</sup> e 290 <sup>o</sup>	Superior a 15 <sup>o</sup>
4	Plano	-	Inferior ou igual a 15 <sup>o</sup>

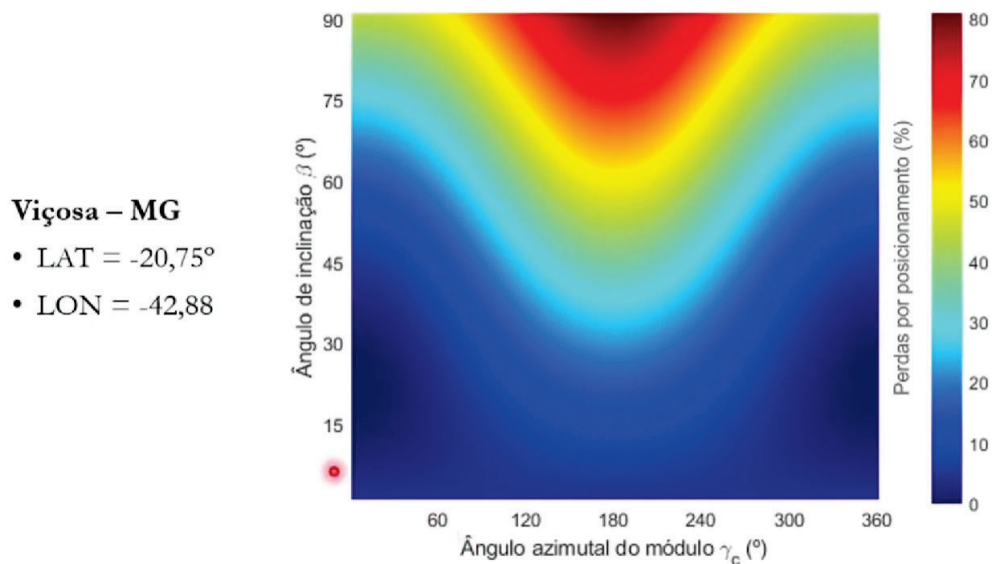


Figura 2 – Simetria Polar de perdas pada a cidade de Viçosa-MG Fonte: Gesep

A Figura 2 mostra uma simetria polar de perdas para a cidade de Viçosa no estado de Minas Gerais. Seguindo o mesmo raciocínio para a cidade de Divinópolis-MG, valida a possibilidade de se analisar usinas com classificação para o Leste e Oeste dentro do mesmo grupo. (ZILLES et al., 2012).

Por meio do aplicativo de monitoramento *Shinephone*, serão extraídos os dados de geração de energia mensal de cada usina. Dessa forma, será calculada a geração de energia em kWh/mês por módulo, dividindo a geração encontrada pelo número de módulos da usina.

Além disso, será calculada a média de geração de energia por módulo no ciclo avaliado, para que através dele, seja possível avaliar quantos módulos seriam necessários por grupo para atender 4 consumos médios mensal estimados para residências e comércios.

Por fim, será calculado o fator de produtividade através da relação  $\frac{kWh}{kWp}$  de cada projeto, onde o kWh será dado pela média de geração de energia mensal durante o ciclo avaliado e o kWp é a potência nominal dos módulos fotovoltaico da usina. Na Tabela 2 é apresentada as informações técnicas de cada usina, como potência total calculada em kWp conforme (2.3), potência dos inversores, azimute, inclinação e a classificação de orientação

conforme o critério definido.

$$P_{FV} = \frac{M}{P_{Módulo}}, \quad (2.3)$$

em que  $M$  é número de módulos.

Tabela 2 – Dados e classificações de cada usina.

Usina	Potência (kWp)	Potência do Inversor (kW)	Azimute (°)	Inclinação (°)	Orientação
1	5,50	6	349	26	Norte
2	3,85	3	6	19	Norte
3	2,20	2,5	3	30	Norte
4	9,35	8	11	28	Norte
5	17,05	13	87	21	Leste
6	4,40	5	253	22	Oeste
7	4,40	5	263	28	Oeste
8	1,65	2	94	28	Leste
9	3,85	3	37	7	Plano
10	5,50	5	99	10	Plano
11	16,50	13	26	9	Plano
12	14,30	10	344	9	Plano

As fotos das usinas são mostradas nas Figuras 3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13 e 14.

Grupo 1



Figura 3 – Usina 1.



Figura 4 – Usina 2.



Figura 5 – Usina 3.



Figura 6 – Usina 4.



Grupo 2



Figura 7 – Usina 5.



Figura 8 – Usina 6.



Figura 9 – Usina 7.



Figura 10 – Usina 8.

Grupo 3



Figura 11 – Usina 9.



Figura 12 – Usina 10.



Figura 13 – Usina 11.



Figura 14 – Usina 12.

## 2.5 Monitoramento

Todos os dados de geração de energia mensal, foram coletados por meio do aplicativo *ShinePhone*. Para este trabalho, serão coletados dados de geração mensal de energia entre os meses de março e outubro de 2022, o que define então o nosso ciclo de geração. Dentro do aplicativo de monitoramento, ainda seria possível obter vários parâmetros do inversor, como potência de entrada e saída, tensão e corrente das *strings*, tensão e potência em cada fase, entre outros dados. No entanto, esses dados não são o foco desse trabalho.

O aplicativo de monitoramento é uma das formas mais acessíveis e confiáveis para se obter a geração real do sistema, pois a nível de projetos residenciais e comerciais, temos um elevado fator de simultaneidade. Dessa forma, a energia injetada marcada pelo medidor da concessionária e demonstrada na fatura de energia, não refletiria a geração total dos sistemas, fazendo então necessário a extração de dados diretamente do aplicativo.

### 3 Resultados e Discussão

Na Tabela 3, estão os dados de geração de energia mensal do grupo que possui as quatro (4) usinas com orientação para o Norte. Como era de se esperar, as usinas não obtiveram a mesma geração de energia mensal, pois não possuem o mesmo número de módulos. Além disso, é possível observar uma geração de energia que varia de acordo com a estação do ano, devido aos fatores principais que são: Irradiação solar, horas de sol pleno, temperatura ambiente e os índices de chuva.

Tabela 3 – Geração de energia mensal das usinas com orientação classificada como Norte.

Geração de energia total produzida pela usina em kWh/mês								
Usina	Mar/22	Abr/22	Mai/22	Jun/22	Jul/22	Ago/22	Set/22	Out/22
1	857,80	715,40	718,40	677,90	675,90	691,60	830,70	855,00
2	598,60	514,40	521,10	489,00	476,80	505,00	592,50	520,00
3	348,50	301,40	312,80	279,10	246,70	279,60	319,40	286,40
4	1460,80	1178,40	1203,70	1165,10	1147,90	1125,30	1267,60	1308,00

Na Tabela 4, foi calculada a geração média de energia por módulo em cada mês para cada usina, através da geração de energia mensal apresentada na Tabela 3, dividida pelo número de módulos de cada usina. Em relação aos dados apresentados na Tabela 3, a maior variação é encontrada no mês de outubro, onde as usinas 1 e 3 apresentaram uma diferença de 10,01% de na produção de energia. Além disso, todas as usinas apresentaram uma melhor performance no mês de março. Enquanto no mês de julho, houve uma queda geral média de 23,08% em relação ao mês de março, sendo então o mês de pior geração.

Tabela 4 – Geração de energia mensal das usinas com orientação classificada como Norte.

Geração de energia média produzida por módulo em kWh/mês								
Usina	Mar/22	Abr/22	Mai/22	Jun/22	Jul/22	Ago/22	Set/22	Out/22
1	85,78	71,54	71,84	67,79	67,59	69,16	83,07	85,50
2	85,51	73,49	74,44	69,86	68,11	72,14	84,64	74,29
3	87,13	75,35	78,20	69,78	61,68	69,90	79,85	71,60
4	85,93	69,32	70,81	68,54	67,52	66,19	74,56	76,94

Os dados da geração de energia mensal das usinas com orientação classificadas como Leste ou Oeste, são apresentados na Tabela 5. A mesma análise feita a respeito da Tabela 2 quanto a diferença de energia produzida entre as usinas, por conta da diferença de módulos fica válida, com exceção das usinas 6 e 7, que são idênticas em potência e equipamentos utilizados. Essa análise reflete como duas usinas de mesma potência, podem ter geração de energia diferentes, sendo que no caso em questão, durante o ciclo houve uma diferença de 4% na produção de energia, que refletiu em um total de 157,2 kWh/mês produzidos a



menos pela Usina 6, sendo possível que alguns fatores secundários não analisados nesse trabalho sejam a causa dessa diferença.

Tabela 5 – Geração de energia mensal das usinas com orientação classificada como Leste ou Oeste.

Geração de energia média produzida por módulo em kWh/mês								
Usina	Mar/22	Abr/22	Mai/22	Jun/22	Jul/22	Ago/22	Set/22	Out/22
5	2410,60	1974,00	1929,80	1585,40	1837,60	1696,10	1610,50	2054,20
6	621,00	504,60	469,20	398,60	388,20	440,20	435,10	567,70
7	671,10	522,10	488,00	421,70	411,30	457,10	445,30	565,20
8	220,20	199,20	187,30	163,80	161,20	174,50	167,30	220,00

Na Tabela 7, são apresentados os dados de geração de energia mensal por módulo para as usinas do segundo grupo, com orientação classificada como Leste ou Oeste. Assim como primeiro grupo, o segundo também apresentou um pior rendimento no mês de julho, com exceção da usina 5, que apresentou pior rendimento em junho. E todas também apresentaram uma melhor geração no mês de março. Sendo que, a variação de energia do grupo 2 no mesmo período chega a ser maior, apresentando uma queda de produção de cerca de 31,92% entre os dois meses, 8,84% a mais que o apresentado para o primeiro grupo.

Tabela 6 – Geração de energia mensal por módulo das usinas com orientação classificada como Leste ou Oeste.

Geração de energia média produzida por módulo em kWh/mês								
Usina	Mar/22	Abr/22	Mai/22	Jun/22	Jul/22	Ago/22	Set/22	Out/22
5	77,76	63,68	62,25	51,14	59,28	54,71	51,95	66,26
6	77,63	63,08	58,65	49,83	48,53	55,03	54,39	70,96
7	83,89	65,26	61,00	52,71	51,41	57,14	55,66	70,65
8	73,40	66,40	62,43	54,60	53,73	58,17	55,77	73,33

Na Tabela 7, são apresentados os dados de geração de energia das quatro (4) usinas instaladas em telhados considerados como plano, com inclinação inferior a 10°. Assim como nos outros dois grupos, ocorre uma diferença na produção de energia mensal entre as usinas por conta principalmente da diferença de potência entre elas. Através da Tabela 1, é possível verificar que as usinas 1 e 10, possuem a mesma potência total, sendo possível avaliar diretamente a diferença de produção entre elas, apresentadas na Tabela 2 e 7. Assim, ao se calcular a geração total durante o ciclo, uma diferença de 18,89% é encontrada, resultando em 1.137,9 kWh/mês produzidos a menos pela usina 10.

Na Tabela 8, são apresentados os dados de geração de energia média por módulo das usinas instaladas em telhado plano. Novamente, tem-se um pico de geração em março e os menores índices em julho, com exceção da usina 9, que assim como a usina 5, também apresentou os menores índices de geração em junho. Ainda assim, maior variação entre

Tabela 7 – Geração de energia mensal das usinas com orientação classificada como plana.

Geração de energia total produzida pela usina em kWh/mês								
Usina	Mar/22	Abr/22	Mai/22	Jun/22	Jul/22	Ago/22	Set/22	Out/22
9	586,50	474,50	430,30	370,50	336,50	386,70	420,50	546,60
10	787,40	657,00	596,80	515,40	523,30	502,30	622,70	679,90
11	2448,50	1829,50	1774,80	1560,00	1583,20	1389,40	1809,70	2264,00
12	2076,40	1677,90	1677,90	1435,30	1422,60	1685,70	1496,00	1716,70

os meses de março e julho é encontrada na usina número 9, cerca de 47,36%, refletindo em uma diferença de produção de 35,72 kWh/mês por módulo. Já em relação a média do grupo, a variação encontrada foi de 35,83%, cerca de 4% a mais que o grupo 2 e 13% em relação ao grupo 1.

Tabela 8 – Geração de energia mensal por módulo das usinas com orientação classificada como plana.

Geração de energia média produzida por módulo em kWh/mês								
Usina	Mar/22	Abr/22	Mai/22	Jun/22	Jul/22	Ago/22	Set/22	Out/22
9	83,79	67,79	61,47	52,93	48,07	55,24	60,07	78,09
10	78,74	65,70	59,68	51,54	52,33	50,23	62,27	67,99
11	81,62	60,98	59,16	52,00	52,77	46,31	60,32	75,47
12	79,86	64,53	64,53	55,20	54,72	64,83	57,54	66,03

No gráfico representado na Figura 15, é possível notar a diferença entre as áreas das curvas das usinas do primeiro grupo, em relação ao segundo e terceiro, serem menores entre os meses de março e outubro. Além disso, com exceção da Usina 10, o restante das usinas dos grupos 2 e 3, apresentaram queda de geração entre os meses de agosto e setembro, enquanto todas as usinas do primeiro grupo apresentaram um aumento na produção, o que levou a uma diferença entre a média de produção das usinas do grupo 1 em relação a média dos grupos 2 e 3, de 28,92% no mês de setembro.

Na Tabela 9 são apresentados os dados médios dos 3 grupos, onde foi avaliado a média de geração no ciclo dos oito (8) meses analisados. A média do grupo no mês de março foi considerada como o pico, por ter sido o mês em que, no geral, os grupos apresentaram uma maior geração, e a média no mês de julho de cada grupo, considerado como vale de geração do ciclo, por ter sido o mês de menor geração de energia de forma geral.

Assim, o grupo 2 e 3 apresentaram 17,54% e 16,24% respectivamente, de produção de energia a menos na média do ciclo. Sendo essas diferenças maiores no vale, 22,82% e 24,67%, e menores no pico, 9,20% e 5,91%, respectivamente.

Para a montagem do gráfico apresentado na Figura 16, foi calculada a média de geração de energia por módulo de cada grupo, em cada mês. Através da área embaixo de cada curva, é possível notar que de fato as usinas do grupo 1, produzem uma maior

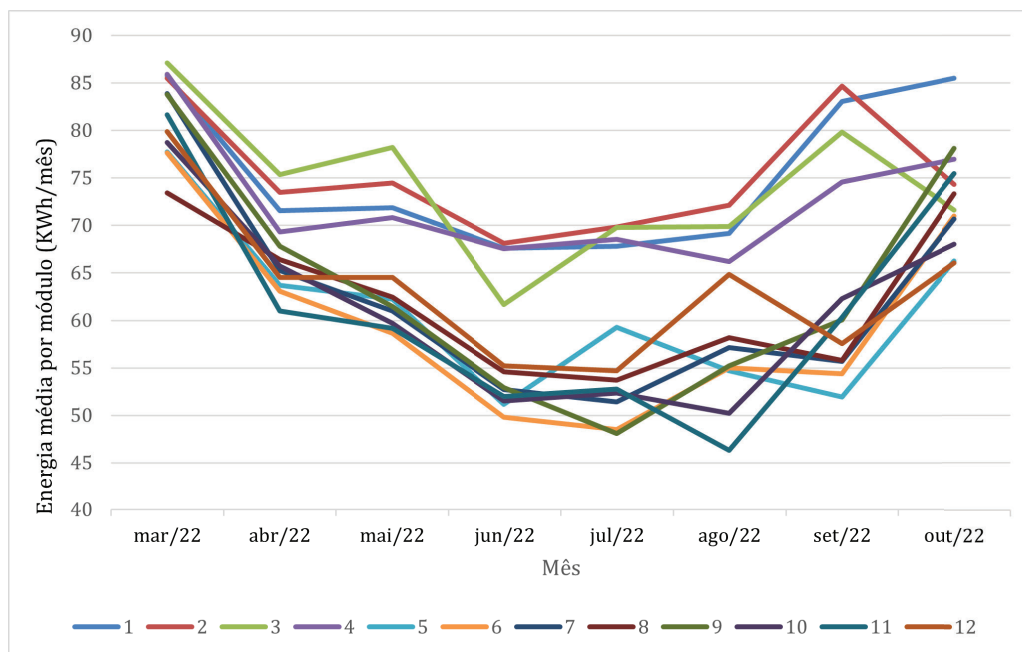


Figura 15 – Curvas de geração média de energia por módulo das usinas.

Tabela 9 – Médias da produção de energia por módulo em cada grupo.

Geração de energia média produzida por módulo em kWh/mês				
Grupo	Média do ciclo	Média no Pico	Média no Vale	Orientação
1	74,31	86,09	68,99	Norte
2	61,27	78,17	53,24	Leste ou Oeste
3	62,24	81	51,97	Plano

geração de energia por módulo ao longo do ciclo. Enquanto no grupo 1, um único módulo produziu em média 594 kWh/mês durante os 8 meses, nos grupos 2 e 3, produziu 490 kWh/mês e 498 kWh/mês, respectivamente.

Para a montagem da Tabela 10, foram considerados 4 consumos em kWh/mês a nível comercial e residencial. Para calcular o número de módulos necessários, utilizou-se as médias de geração e energia por módulo no ciclo avaliado, demonstrada na Tabela 9. Como não é possível considerar um número não inteiro de módulos, foi feito um arredondamento. É possível verificar que para os grupos 2 e 3, a mesma quantidade de módulos se faz necessária para conseguir suprir os 4 consumos considerados. No entanto, em comparação com o grupo 1, o número de módulos necessários se torna maior à medida que a demanda aumenta. Outro ponto a ser analisado é que o aumento no número de módulos, pode impactar em se tornar necessário uma adequação na potência do inversor ou inversores a serem utilizados, já que a potência de pico da usina seria maior, podendo ultrapassar as recomendações do fabricante. Com isso, além do custo financeiro do aumento de módulos, a necessidade de se ter um inversor de maior potência, também poderia aumentar o valor do investimento.

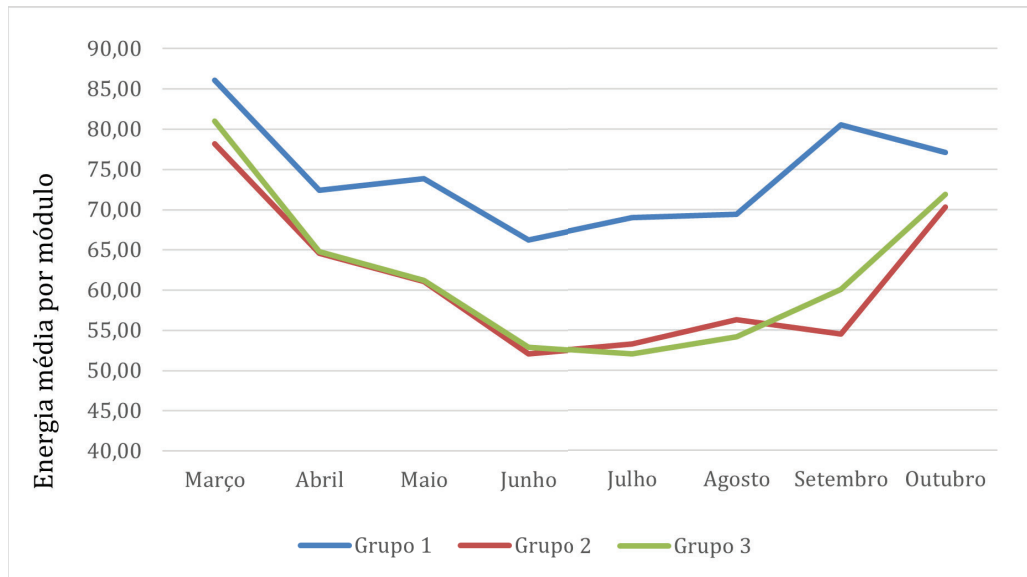


Figura 16 – Média de geração mensal por módulo de cada grupo.

Tabela 10 – Número de módulos de 550 W necessários para atender 4 consumos médios a nível residencial e comercial para cada grupo.

Geração de energia média produzida por módulo em kWh/mês				
Grupo	Média do ciclo	Média no Pico	Média no Vale	Orientação
1	74,31	86,09	68,99	Norte
2	61,27	78,17	53,24	Leste ou Oeste
3	62,24	81	51,97	Plano

Por fim, foi calculado o fator de produtividade  $Fp$  de cada usina através da relação  $\frac{kWh}{kWp}$  onde o  $kWh$  será considerado como a média mensal de energia produzida durante o ciclo. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 11.

A diferença entre o melhor índice, encontrado na usina 2, e o pior índice, encontrado na usina 6, é de 20,65%. E a menor diferença entre o pior índice do grupo 1, encontrado na Usina 4, e o melhor índice entre as usinas do grupo 2 e 3, encontrado na usina 9, é de 12,48%.

A relação do fator de produtividade, apresentado na Tabela 11, apresenta uma relação análoga do que foi apresentado na Tabela 10. Enquanto em uma foi calculada qual à potência necessária para se atender uma demanda de consumo mensal, a outra fornece uma relação de quando uma usina de determinada potência pode produzir mensalmente de acordo com a sua orientação. Essa última relação se faz útil em diversas situações reais, onde em alguma situação o local onde será instalada a usina apresenta um limitante quanto a potência, seja por área disponível que limitaria o número de módulos que poderiam ser utilizados, ou por um padrão de entrada que limita a potência e o modelo do inversor, que por sua vez, também limitaria o número de módulos devida à máxima potência de entrada recomendada. Com isso, através do fator de produtividade, poderia ser estimada

Tabela 11 – Fator de Produtividade de cada usina.

Usina	Potência (kWp)	Energia produzida(kWh)	Fp (h/mês)	Orientação
1	5,5	752,84	136,88	Norte
2	3,85	527,18	136,93	Norte
3	2,20	296,74	134,88	Norte
4	9,35	1232,10	131,78	Norte
5	17,05	1887,28	110,69	Leste
6	4,40	478,08	108,65	Oeste
7	4,40	497,73	113,12	Oeste
8	1,65	186,69	113,14	Leste
9	3,85	444,01	115,33	Plano
10	5,50	610,60	111,02	Plano
11	16,50	1832,39	111,05	Plano
12	14,30	1648,56	115,28	Plano

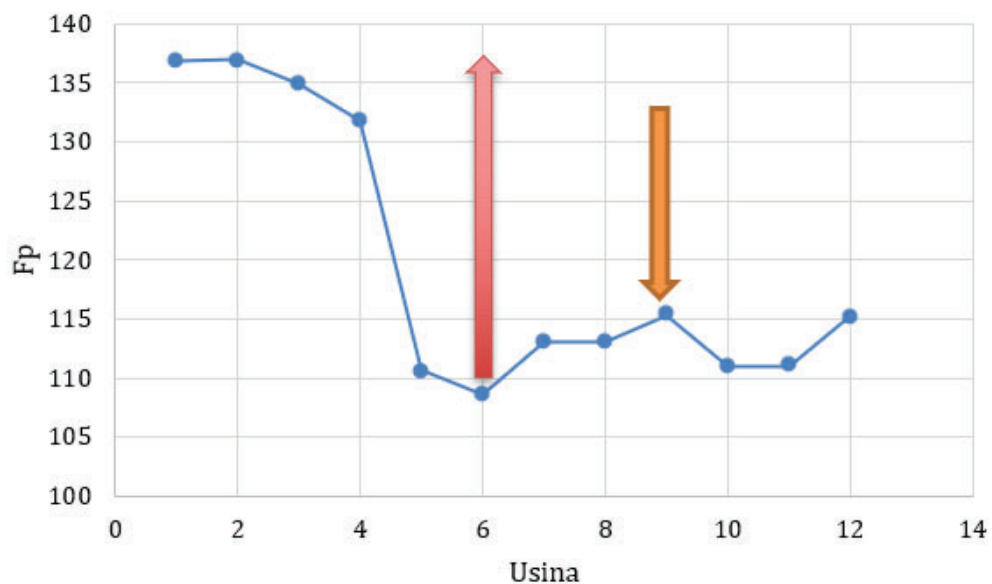


Figura 17 – Fator de produtividade de cada usina.

a produção de energia para usinas em localidades próximas, de acordo com o grupo em que ela se encaixa.

Dessa forma, foi calculado, conforme apresentado na Tabela 12, o fator de produtividade médio, máximo e mínimo de cada grupo.

Tabela 12 – Fator de Produtividade de cada grupo.

Fator de Produtividade (h/mês)				
Grupo	Médio	Máximo	Mínimo	Orientação
1	135,12	136,93	131,78	Norte
2	111,40	113,14	108,65	Leste ou Oeste
3	113,17	115,33	111,02	Plano

Em relação aos dados apresentados na Tabela 12, é possível verificar uma diferença no fator de produtividade médio de 21,95  $kWh/mês$  por  $kWp$  entre o grupo Norte que apresentou os melhores índices e o segundo grupo que possui orientação para o Leste ou Oeste. Por meio dessa diferença, é possível visualizar a real diferença de energia produzida por potência de usina. Para unidades consumidoras enquadradas no grupo B, objeto de estudo desse trabalho, é possível ter usinas na faixa de 102,3  $kWp$  com um inversor de 75  $KW$ , variando um pouco a potência total de acordo com os limites do inversor. Sendo assim, para uma usina desse porte, seria possível ter uma diferença de produção mensal na faixa de 2.265,24  $kWh/mês$  (21,95 x  $kWp$ ), impactando em torno de 27.182,88  $kWh/Ano$ . Enquanto a diferença do fator de produtividade médio entre os grupos 2 e 3, que é de 1,77  $kWh/mês$  por  $kWp$ , o que impactaria para a mesma usina em questão, uma diferença de 181,07  $kWh/mês$  e 2.172,85  $kWh/Ano$ .

## 4 Conclusão

Neste trabalho, através dos parâmetros calculados, foi possível realizar a comparação direta entre as produções de energia elétrica de cada usina e de cada grupo. Assim, apesar das usinas não possuírem a mesma potência, todos os dados acerca da produção de energia elétrica foram comparados entre si.

Verificou-se ainda pelas estimativas de produção de energia, que para atender uma determinada demanda de consumo, as usinas dos Grupos 2 e 3, podem precisar de um número maior de módulos do que as usinas do Grupo 1. Dessa forma, é plausível concluir que existe um custo maior no projeto de usinas fotovoltaicas que possuem ângulos azimutais e de inclinação dos módulos similares aos dos grupos 2 e 3. Além disso, é importante ressaltar que um aumento no número de módulos, pode impactar por consequência a necessidade de um inversor de potência maior, o que aumentaria ainda mais esse custo.

Por fim, as diferenças dos Fatores de Produtividade de cada usina e cada grupo, mostram que as usinas do grupo 1, podem ter entre 12% e 21% a mais na produção de energia elétrica em relação as usinas dos Grupos 2 e 3. Logo, para os cálculos financeiros acerca do retorno do investimento, é necessário coletar de fato as informações dos ângulos azimutais e de inclinação do telhado do local de instalação, para que se faça uma estimativa mais precisa da produção de energia elétrica.

# Referências

- ANEEL. Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. *Agência Nacional de Energia Elétrica, Rio de Janeiro*, 2012. Citado na página 11.
- ANEEL. Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. *Agência Nacional de Energia Elétrica, Rio de Janeiro*, 2015. Citado na página 11.
- COELHO, A. B. *Análise técnica e econômica de um dispositivo experimental de geração de energia fotovoltaica em um sistema on-grid*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo. Citado na página 15.
- EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2022 – ano base 2021. *Empresa de Pesquisa Energética*, 2022. Citado na página 11.
- NEMES, C. et al. A correlation between photovoltaic system production and local solar resources. In: IEEE. *2017 14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)*. [S.l.], 2017. p. 47–50. Citado na página 11.
- PANKOVE, J. I. *Optical processes in semiconductors*. [S.l.]: Courier Corporation, 1975. Citado na página 15.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. et al. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. *Rio de Janeiro*, v. 1, p. 47–499, 2014. Citado na página 16.
- SEDRAOUI, K. et al. Optimum orientation and tilt angle for estimating performance of photovoltaic modules in western region of Saudi Arabia. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, AIP Publishing LLC, v. 9, n. 2, p. 023702, 2017. Citado na página 12.
- TAKIGAWA, F. Y. K. et al. Energy management by the consumer with photovoltaic generation: Brazilian market. *IEEE Latin America Transactions*, IEEE, v. 14, n. 5, p. 2226–2232, 2016. Citado na página 11.
- YANG, H.; LU, L. The optimum tilt angles and orientations of PV claddings for building-integrated photovoltaic (BIPV) applications. 2007. Citado na página 12.
- ZILLES, R. et al. *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica*. 2012. Citado na página 17.
- ZILLES, R. et al. *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica*. [S.l.]: Oficina de textos, 2016. Citado na página 14.



# Anexos

# ANEXO A – Datasheet inversores

Datasheet	MIN 2500TL-X	MIN 3000TL-X	MIN 3600TL-X	MIN 4200TL-X	MIN 4600TL-X	MIN 5000TL-X	MIN 6000TL-X
<b>Input Data</b>							
Max. recommended PV power (for module STC)	3500W	4200W	5040W	5880W	6440W	7000W	8100W
Max. DC voltage	500V	500V	550V	550V	550V	550V	550V
Start voltage	100V	100V	100V	100V	100V	100V	100V
MPP work voltage range/ nominal voltage	80V-500V /360V	80V-500V /360V	80V-550V /360V	80V-550V /360V	80V-550V /360V	80V-550V /360V	80V-550V /360V
Max. input current	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A
Max. short-circuit current	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A
Number of independent MPP trackers / strings per MPP tracker	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1
<b>Output (AC)</b>							
Rated AC output power	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Max. AC apparent power	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Max. output current	11.3A	13.6A	16A	19A	20.9A	22.7A	27.2A
AC nominal voltage	230V(160V-300V)	230V(160V-300V)	230V(160V-300V)	230V(160V-300V)	230V(160V-300V)	230V(160V-300V)	230V(160V-300V)
AC grid frequency	50Hz/60Hz ± 5Hz	50Hz/60Hz ± 5Hz	50Hz/60Hz ± 5Hz	50Hz/60Hz ± 5Hz	50Hz/60Hz ± 5Hz	50Hz/60Hz ± 5Hz	50Hz/60Hz ± 5Hz
Adjustable power factor	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging
THDI	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
AC connection	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase
<b>Efficiency</b>							
Max. efficiency	98.2%	98.2%	98.2%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
Euro weighted efficiency	97.1%	97.1%	97.2%	97.5%	97.5%	97.5%	97.5%
MPP efficiency	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
<b>Protection Devices</b>							
DC reverse polarity protection	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
DC switch	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
DC surge protection	Type II	Type II	Type II	Type II	Type II	Type II	Type II
Output over current protection	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Output over voltage protection-varistor	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Ground fault monitoring	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Grid monitoring	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Integrated all - pole sensitive leakage current monitoring unit	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
<b>General Data</b>							
Dimensions (W / H / D) in mm	375/350/160	375/350/160	375/350/160	375/350/160	375/350/160	375/350/160	375/350/160
Weight	10.8KG	10.8KG	10.8KG	10.8KG	10.8KG	10.8KG	10.8KG
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Noise emission (typical)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)	≤25 dB(A)
Altitude	4000m	4000m	4000m	4000m	4000m	4000m	4000m
Self-Consumption night	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W
Topology	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural
Environmental Protection Rating	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Relative humidity	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Features</b>							
DC connection	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)
AC connection	Connector	Connector	Connector	Connector	Connector	Connector	Connector
Display	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED
Interfaces: RS485 / USB / Wi-Fi / 4G / RF	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt
Warranty: 5 years / 10 years	yes / opt	yes / opt	yes / opt	yes / opt	yes / opt	yes / opt	yes / opt
<b>Growatt MIN 6000 TL-X efficiency</b>				<b>Growatt MIN 2.5-6kTL-X topology</b>			
CE, IEC62109, G83, VDE0126-1-1, VFR2014, G59, AS4777, AS/NZS 3100, CEI0-21, VDE-AR-N4105, EN50438, CQC, IEC61683, IEC60068, IEC61727, IEC62116 <b>Growatt NEW ENERGY TECHNOLOGY Co., LTD</b> A: No.28 Guangming Road, Longfeng Community, Shiyuan, Baoan District, Shenzhen, P.R.China. T: +86 755 2747 1900 F: +86 755 2749 1460 E: info@ginverter.com *1 For VDE-AR-N4105 Max. output power is 4600W *2 For AS4777, Iac max.:20.9A							

Figura 18 – Datasheet inversores Growatt MIN 2500 6000TL-X.

Ficha de dados	MIN 7000TL-X(E)	MIN 8000TL-X(E)	MIN 9000TL-X	MIN 10000TL-X
<b>Dados de entrada (CC)</b>				
Potência máxima FV máxima recomendada (por módulo STC)	11200W	11200W	13500W	15000W
Tensão Máxima CC			600V	
Tensão de start			100V	
Tensão nominal			360V	
Faixa de tensão MPP			60-550V	
Número de MPP trackers	2			3
Número de strings FV por MPP tracker	1/2			1/1/2
Corrente máxima de entrada por MPP tracker	13.5A/27A			13.5A/13.5A/27A
Corrente máxima de curto circuito por MPP tracker	16.9A/33.8A			16.9A/16.9A/33.8A
<b>Dados de saída (CA)</b>				
Máxima potência nominal CA	7000W	8000W	9000W	10000W
Potência máxima aparente CA	7000VA	8000VA	9000VA	10000VA
Tensão nominal CA			220V/160-300V	
Frequência da rede CA			50/60Hz(44-55Hz/54-65Hz)	
Corrente de saída máxima	33.5A	38.3A	43A	45.5A
Fator de potência ajustável			0.8i-0.8c	
THDI			<3%	
Tipo de conexão de rede CA			Monofásico	
<b>Eficiência</b>				
Eficiência máxima			98.1%	
Eficiência europa	97.3%			97.6%
Eficiência MPPT			99.5%	
<b>Dispositivos de proteção</b>				
Proteção de polaridade reversa CC			Sim	
Chave seccionadora CC			Sim	
Proteção contra sobretensão CC/CA			Type II / Type III	
Monitoramento de resistência de isolamento			Sim	
Proteção de curto circuito CA			Sim	
Monitoramento de falha da rede			Sim	
Monitoramento da rede			Sim	
Proteção anti-ilhamento			Sim	
Monitoramento de corrente residual			Sim	
Proteção AFCI			Opcional	
<b>Dados Gerais</b>				
Dimensões (L/A/P)			425/387/180mm	
Peso			18.2kg	
Faixa de temperatura operacional			-25 °C ... +60 °C	
Consumo noturno			< 1W	
Topologia			Sem transformador	
Resfriamento			Refrigeração natural	
Grau de proteção			IP66	
Humidade relativa			0-100%	
Altitude			4000m	
Conexão CC			H4/MC4(Optional)	
Conexão CA			Cable gland +OF terminal	
Display			OLED+LED/WIFI+APP	
Interfaces: RS485 / USB/Mi-Fi/ GPRS/ RF/LAN			Yes/Yes/Optional/Optional/Optional /Optional	
Garantia: 5 anos/10 anos			Yes/Optional	
CE, IEC 62116, IEC 61727, IEC62109, INMETRO, AS4777				

Shenzhen Growatt New Energy Co., LTD.

A: No.28 Guangming Road, Longfeng Community, Shiyao, Baoan District, Shenzhen, P.R.China.

T: + 86 755 2747 1900

F: + 86 755 2749 1460

E: info@ginverter.com

Figura 19 – Datasheet inversores Growatt MIN 7000 10000TL-X.

# ANEXO B – Datasheet módulos

## DHM-72X10/BF 520~550W

Design	Mechanical Specification	
	<b>Cells Type</b> <b>Mono 182×91mm</b>	<b>Dimension (L×W×T)</b> <b>2256×1133×35mm</b>
	<b>Weight</b> <b>28.7kg</b>	<b>Packing</b> <b>31pcs/pallet, 620pcs/40HQ</b>
<b>Output Cable (Including connector)</b> 4.0mm <sup>2</sup> , 300/400mm in length, length can be customized	<b>No. of Cells</b> 144 (6×24)	<b>Glass</b> 3.2mm High Transmission, Antireflection Coating
<b>Junction box</b> IP68, 3 Bypass Diodes	<b>Connector</b> MC4 Compatible	
Operating Parameters		
<b>Maximum system voltage</b> 1000V/1500V DC	<b>Operating Temperature</b> -40 ~ +85°C	
<b>Maximum series fuse rating</b> 30A	<b>Snow load, frontside</b> 5400Pa	
<b>Wind load, backside</b> 2400Pa	<b>Nominal operating cell temperature</b> 45°C±2°C	
<b>Application level</b> Class A		

### Electrical Characteristics

Module Type	DHM-72X10/BF													
	STC	Noct	STC	Noct	STC	Noct	STC	Noct	STC	Noct	STC	Noct	STC	Noct
Maximum Power (Pmax)	520W	387W	525W	391W	530W	394W	535W	398W	540W	402W	545W	405W	550W	409W
Open-circuit Voltage (Voc)	49.00V	45.96V	49.20V	46.15V	49.40V	46.34V	49.60V	46.52V	49.80V	46.71V	50.00V	46.90V	50.20V	47.09V
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.2V	38.65V	41.4V	38.83V	41.6V	39.02V	41.8V	39.21V	42.0V	39.40V	42.2V	39.58V	42.4V	39.77V
Short-circuit Current (Isc)	13.42A	10.84A	13.48A	10.89A	13.54A	10.94A	13.60A	10.99A	13.66A	11.04A	13.72A	11.09A	13.78A	11.13A
Maximum Power Current (Imp)	12.62A	10.01A	12.68A	10.06A	12.74A	10.11A	12.80A	10.15A	12.86A	10.20A	12.91A	10.24A	12.97A	10.29A
Module Efficiency (STC)	20.34%		20.54%		20.74%		20.90%		21.10%		21.32%		21.52%	

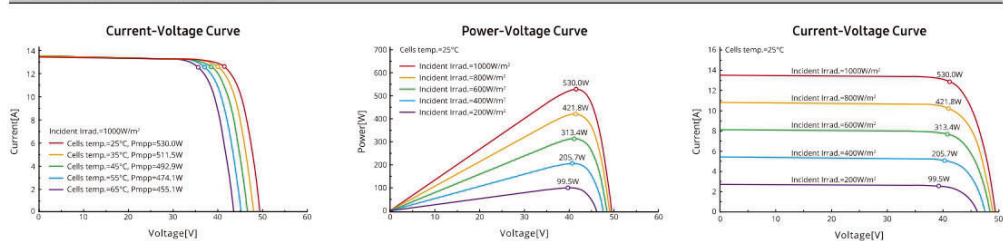
STC: Standard Test Environment : Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell temperature 25°C, Spectrum AM1.5  
 NOCT: Standard Test Environment : Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient temperature 20°C, Spectrum AM1.5, Wind speed 1m/s

Refer Bifacial Factor: 70±5%      Temperature Coefficient of Voc: -0.31%/°C  
 Temperature Coefficient of Isc: 0.05%/°C      Temperature Coefficient of Pmax: -0.35%/°C

### Double-sided power generation parameters (Rear gain)

	5%	15%	25%
Maximum Power (Pmax)	546W	598W	650W
Module Efficiency (%)	21.36%	23.40%	25.43%
Maximum Power (Pmax)	551W	604W	656W
Module Efficiency (%)	21.57%	23.62%	25.67%
Maximum Power (Pmax)	557W	610W	663W
Module Efficiency (%)	21.77%	23.85%	25.92%
Maximum Power (Pmax)	562W	615W	669W
Module Efficiency (%)	21.98%	24.07%	26.16%
Maximum Power (Pmax)	567W	621W	675W
Module Efficiency (%)	22.18%	24.30%	26.41%
Maximum Power (Pmax)	572W	627W	681W
Module Efficiency (%)	22.39%	24.52%	26.65%
Maximum Power (Pmax)	578W	633W	688W
Module Efficiency (%)	22.59%	24.75%	26.90%

### I-V Curve (DHM-72X10/BF-530W)



Add: No.1 Yaoyuan Road, Luyang District, Hefei City, Anhui, China  
 E-mail: sales@dh-solar.cn      Facebook: www.facebook.com/DAHsolar

www.dahsolarpv.com

Figura 20 – Datasheet módulos DAH SOLAR - DHM-72X10/BF 520 550W.