

## **Dimensionamento de um arranjo fotovoltaico *On-Grid* utilizando microinversores em um sistema de baixa tensão residencial.**

**Guilherme Ianuskiewicz Marques (Universidade Santa Cecília)**  
alexguimarques@hotmail.com

**Daniel Queiroz da Silva (Universidade Santa Cecília)**  
engenheirodanielqueiroz@gmail.com

**Thiago Trindade Gonzalez (Instituto Mauá de Tecnologia)**  
thiagotrindadegonzalez@gmail.com

**Aldo Ramos Santos (Universidade Santa Cecília)**  
rsantos@unisanta.br



*Energia renovável é a denominação utilizada para as fontes naturais de energia que conseguem se renovar e assim nunca se esgotam. Por serem consideradas energias limpas, poluem pouco e não chegam a atingir com seriedade o meio ambiente. Para a redução deste efeito começaram, em todo o mundo a procura de meios para diminuir o aquecimento global que são questões sérias na atual situação mundial. Foram explorados como fontes de energia renováveis a solar, eólica, hídrica e geotérmica. O objetivo deste trabalho foi dimensionar uma planta fotovoltaica de geração distribuída, de baixa potência residencial ligado à rede on-grid para consumidores do grupo B (baixa tensão), cujo fornecimento de tensão é inferior a 75 kW com corrente alternada (CA), conectado ao sistema de distribuição da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) com adesão ao sistema de compensação de energia, utilizando 5 microinversores (CC/CA) modelo QS1-BR 220V. Contém 20 módulos fotovoltaicos da marca DAH-DHP72-330 com potência de 330Wp, área de instalação de 40 m<sup>2</sup>, três unidades por disjuntores CA de 20A, com potência real instalada do sistema de geração de 6,6 kW, com potência máxima nominal de saída de 1200W e corrente máxima de saída 5,45 A. Conclui-se que neste projeto foi respeitado as normas de instalações que estão de acordo com as NBR 5410 e NBR 16690 produzindo uma energia anual de 9.017,59 kWh, sendo a média de energia mensal de 641,1 kWh/mês para uma casa residencial.*

*Palavras-chave: Dimensionamento elétrico, Projeto fotovoltaico, Módulo fotovoltaico, Microinversor, Energia produzida.*

## 1. Introdução

Energia renovável é a denominação utilizada para as fontes naturais de energia que conseguem se renovar e assim nunca se esgotam (EISAPOUR *et al*, 2021). Por serem consideradas energias limpas, poluem pouco e não chegam a atingir com seriedade o meio ambiente. Com o crescimento e o desenvolvimento industrial no século vinte, principalmente com a exploração de combustível fóssil, levou a um aumento nos gases de efeito estufa (GEE) que impactou diretamente no meio ambiente (TIWARI *et al*, 2020); (PANG *et al*, 2019); (JHA *et al*, 2020). Para a redução deste efeito começaram, em todo o mundo a procura de meios para diminuir o aquecimento global que são questões sérias na atual situação mundial (RAJORIA *et al*, 2020). Foram explorados como fontes de energia renováveis a solar, eólica, hídrica e geotérmica (SHEIKHOLESLAMI *et al*, 2021). Conforme dados da Administração de Informações de Energia dos EUA (EIA), a utilização de energia renovável deve aumentar em média 2,6% ao ano no período de 2012 a 2040, já em termos globais deverá ter um aumento entre 14% a 22% de 2035 e 2040 (TIWARI *et al*, 2020). Segundo Chin *et al* (2020), a energia solar é a fonte mais importante de energia renovável, pois a quantidade de radiação solar da luz fornece uma energia ilimitada e verde, sem a presença de carbono. A energia solar é a forma mais abundante, limpa e renovável de energia que pode ser convertida diretamente em eletricidade e calor por meio de células solares e coletores solares térmicos (PARIDA *et al*, 2011). Painéis Fotovoltaico (PV) é um dispositivo projetado para transformar a energia solar diretamente em eletricidade e a corrente elétrica assim produzida é uma corrente contínua (DC). A transformação da luz em energia elétrica, por meio do PV, é realizada por meio do processo fotoelétrico, que normalmente acontece quando os fótons presentes na luz solar reagem à descarga de elétrons e, assim, os elétrons liberados produzem eletricidade (AL-WAELI *et al*, 2020); (ASWAD *et al*, 2021). Coletores solares fotovoltaicos podem ao mesmo tempo fornecer eletricidade e calor, captando totalmente a radiação solar em todo o espectro solar, entre 0,2 e 3 mm (HU *et al*, 2020). Rajoria *et al* (2020), citam, também, que a energia solar é uma das fontes renováveis que mais reduz a emissão de carbono e que pelo uso de células fotovoltaicas solares a energia é convertida em eletricidade. Depende da eficiência das células PV (7 a 40%) que é um dispositivo semicondutor que converte radiação solar dispersa e concentrada em corrente contínua, sendo que 80% da radiação solar incidente é absorvida por células fotovoltaicas, e dividem a energia solar em duas partes: solar térmica e fotovoltaico, sendo a energia térmica solar a que converte a radiação solar em calor útil que é usado para aplicações de aquecimento, como de água,

secador solar, aquecimento solar passivo e a fotovoltaica que é usada para converter a irradiação solar em eletricidade por uso de células solares à base de silício. Parthiban *et al* (2020), dizem que a energia solar incidente pode ser convertida diretamente em energia elétrica por tecnologia fotovoltaica. Entretanto, somente uma fração é convertida em energia elétrica útil, enquanto que o restante incidente de energia constitui desperdício de energia térmica que se acumula dentro da célula fotovoltaica levando a um aumento na temperatura da célula. Os painéis fotovoltaicos geram energia elétrica, utilizando a energia da luz da radiação solar, mas absorvendo a energia térmica, devido a este fator, os painéis esquentam e como consequência esta energia térmica causa 0,5% °C de perda de eficiência elétrica por cada grau de incremento de temperatura após 25 °C (BABU; PONNAMBALAM, 2021). É característico que a eficiência da célula solar diminua 0,5% em cada aumento de 1°C na temperatura de operação (CHIN *et al*, 2020). A Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2021), conforme divulgado em 5 de abril de 2021, dizem que as adições à capacidade global de energia renovável em 2020 superaram as estimativas anteriores e todos os recordes anteriores, apesar da desaceleração econômica resultante da pandemia COVID-19, o mundo adicionou mais de 260 GW de capacidade de energia renovável comparado com 2019, superando em cerca de 50%, isso ocorreu em virtude, principalmente, ao descomissionamento líquido da geração de energia com combustível fóssil na Europa, América do Norte e pela primeira vez na Eurásia. Segundo levantamentos realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2021) e pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2020), o Brasil alcançou a potência instalada de 4.460MW em 2020, obtendo um crescimento de 45% em relação ao ano anterior, porém, no Brasil mesmo sendo um país privilegiado pela irradiação solar comparado a outros países, a geração solar fotovoltaica opera somente em torno de 1,6% (BRASIL, 2019), com a finalidade de mudar este quadro o governo brasileiro tem incentivado a inclusão desta forma de energia através de incentivos governamentais definidos em normas que facilitam a instalação de sistemas fotovoltaicos. Em 2012, o governo, por meio da Aneel criou a resolução normativa 482/2012 que posteriormente foi atualizada pela 676/2015, apressando a aprovação por parte das concessionárias de projetos de geração distribuída fotovoltaica, eólica, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas. Na RN 676/2015, foi definido que qualquer forma de geração com capacidade 2 inferior a 75 kW seja considerada Microgeração, e, acima deste valor, são consideradas Minigeração de até 3 MW para hidrelétricas e 5 MW para fotovoltaicas e outras. Em 2015 através do Programa de Desenvolvimento da Geração

Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) foi investido R\$ 100 bilhões. A previsão para 2030 é que tenha 2,7 milhões de unidades consumidoras podendo gerar energia por elas mesmas que poderão resultar em 23.500 MWh (48 TWh produzidos) de energia.

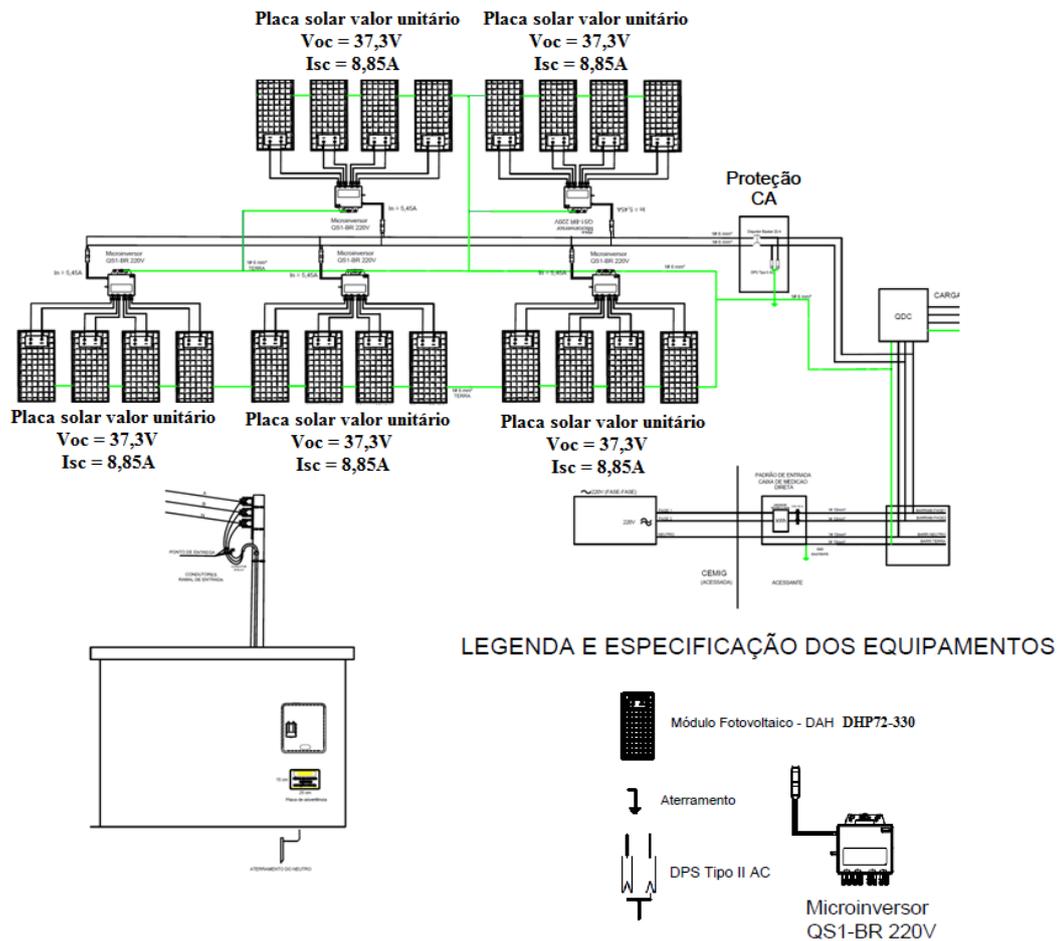
## 2. Objetivos

O objetivo deste trabalho foi dimensionar uma planta fotovoltaica de geração distribuída, de baixa potência residencial ligado à rede (*on-grid* ou *grid-tie*) para consumidores do grupo B (baixa tensão), cujo fornecimento de tensão é inferior a 75 kW.

## 3. Materiais e Métodos

Neste trabalho foi desenvolvido um projeto de um arranjo fotovoltaico *On Grid*, corrente alternada (CA), conectado ao sistema de distribuição da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) para acesso a microgeração com potência instalada menor que 75 kW e com adesão ao sistema de compensação de energia, utilizando 5 microinversores (CC/CA) modelo QS1-BR 220V. Conforme manual da *APsystems*, cada módulo fotovoltaico tem controles MPPT (Rastreador de Ponto de Potência Máxima) individuais, que asseguram que a energia máxima seja retirada dos módulos, independente do desempenho dos outros módulos fotovoltaicos no sistema, pois caso os módulos no sistema sejam prejudicados por sombra, poeira, orientação ou qualquer situação na qual um módulo tenha um rendimento inferior, o microinversor garante um elevado desempenho do sistema, aumento a eficiência de cada módulo interno. Contém 20 módulos fotovoltaicos da marca DAH-DHP72-330 com potência de 330Wp, área de instalação de 40 m<sup>2</sup>, três unidades por disjuntores CA de 20A, com potência real instalada do sistema de geração de 6,6 kW. A caixa de proteção ou (*String-box*) CA é constituído pelos elementos de proteção e manobra no lado de corrente alternada após a saída do microinversor para uma voltagem de 220V, esta caixa é constituída pelos itens internos compostos por: disjuntor AC ou chave seccionadora, fusíveis (polo positivo e polo negativo) e o dispositivo DPS AC tipo II de proteção contra surtos elétricos. O diâmetro do cabeamento elétrico e do aterramento é de 6 mm<sup>2</sup>, e as instalações estão de acordo com as Normas NBR 5410 e NBR 16690, disposto na Figura 1.

Figura 1- Planta do arranjo fotovoltaico *On Grid*



Fonte: Adaptado pelos autores, 2021

### 3.1. Índice de irradiação Solar utilizando o simulador (*SunData v 3.0*)

Para a obtenção da irradiação solar do bairro do Embaré, na cidade de Santos/SP, foi utilizado os mapas solarimétricos do sistema *SunData v 3.0*, na Latitude 23,9697° S e Longitude 46,3162° O (CRESESB, 2020), que apresentam como média de irradiação solar (Irs) o valor de 3,91 kWh/m<sup>2</sup>·dia, conforme Tabela 1.

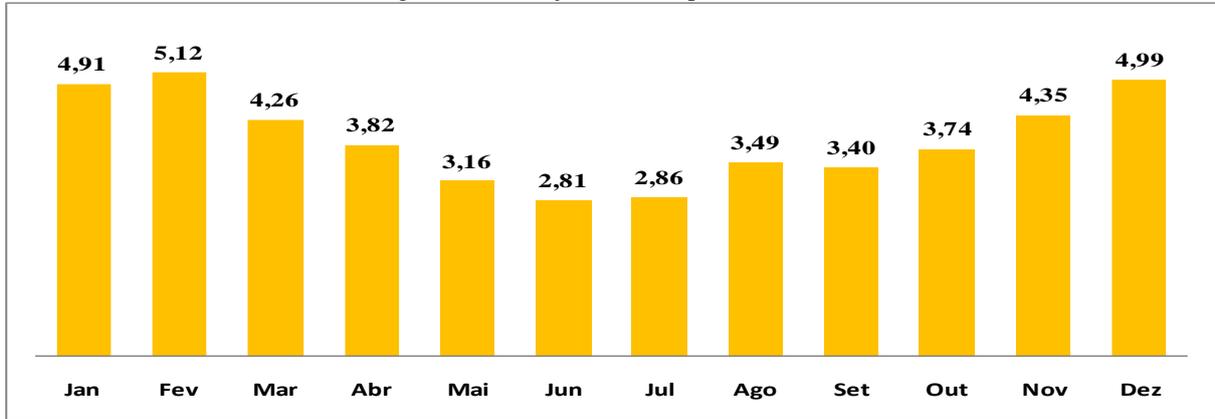
Tabela 1- Irradiação solar diária- Bairro Embaré, Santos/SP

Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]																				
Estação	Município	UF	País	Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Santos	Santos	SP	Brasil	23,901° S	46,349° O	8,3	4,91	5,12	4,26	3,82	3,16	2,81	2,86	3,49	3,40	3,74	4,35	4,95	3,91	2,32

Fonte: CRESESB, 2020

Na Figura 2 é demonstrada as variações de irradiação solar no plano horizontal dos meses de janeiro a dezembro de 2020.

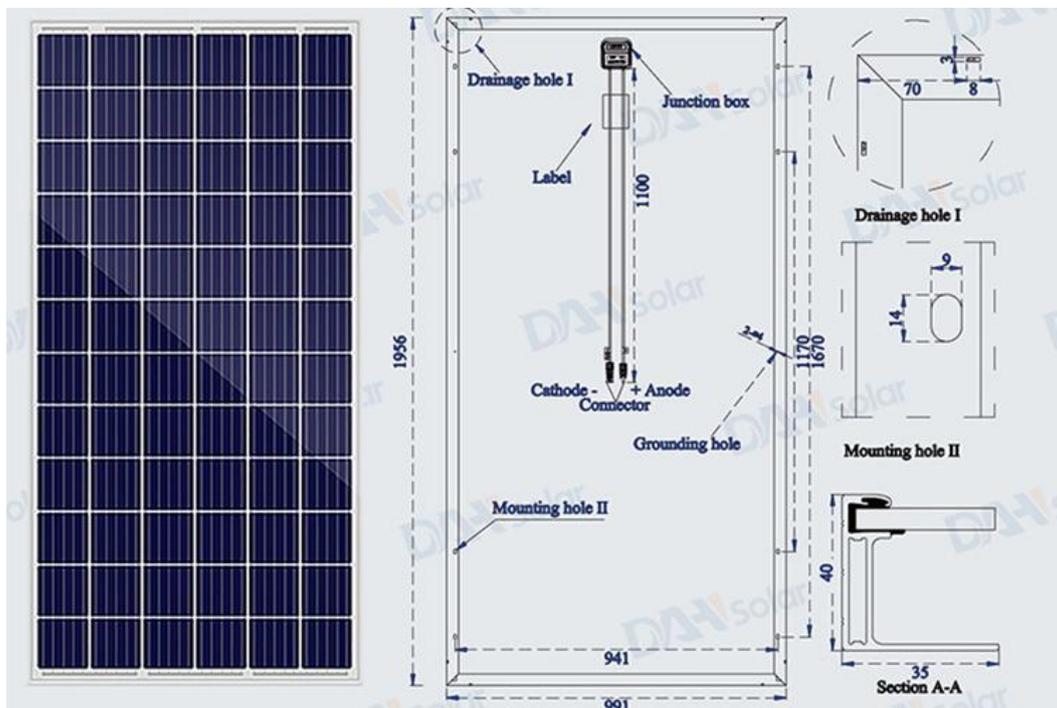
Figura 2- Irradiação solar no plano horizontal



Fonte: CRESESB, adaptado pelos autores, 2021

Na Figura 3 é demonstrado o painel solar utilizado no projeto do arranjo fotovoltaico, e na Tabela 2 algumas características elétricas dadas pelo fabricante.

Figura 3- Módulo fotovoltaico- DAN DHP72-330



Fonte: Dah Solar, 2021

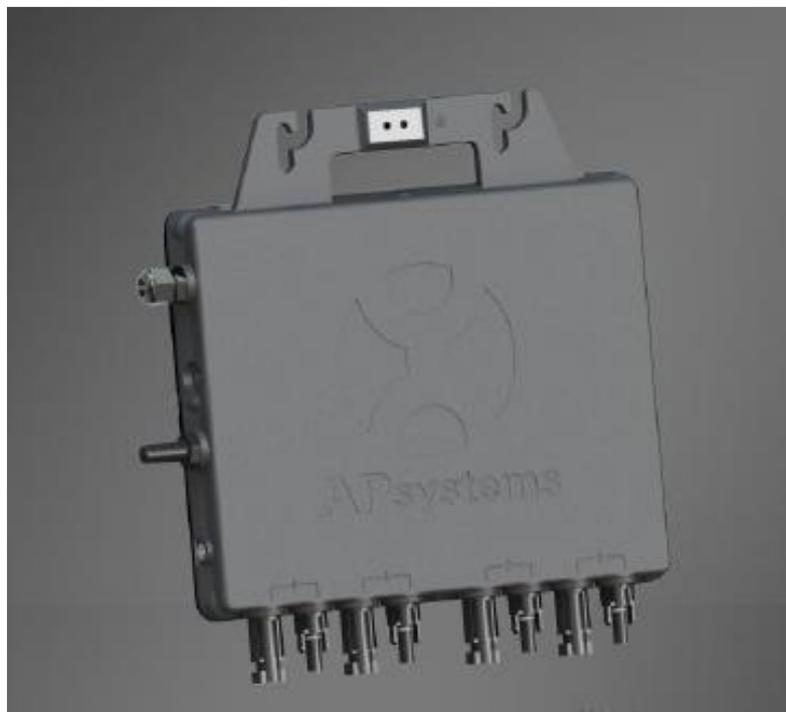
Tabela 2- Características elétricas da placa fotovoltaica

tipo de módulo	dhp 72 - 330
potência máxima (pmax)	330 W
tensão de circuito aberto (voc)	46,1 v
tensão máxima de energia (vmp)	37,3 v
corrente de curto-circuito (isc)	9,38 uma
corrente máxima de potência (imp)	8,85 uma
eficiência do módulo (%)	17,02 %
tolerância de potência	0 ~ + 5w
ambiente de teste padrão	irradiância 1000 w/m <sup>2</sup> , temperatura da célula 25 °C, espectro sou 1,5

Fonte: Dah Solar, 2021

A Figura 4 é o microinversor QS1 APsystems aplicado no projeto do arranjo fotovoltaico, e na Tabela 3 algumas características técnicas dadas pelo fabricante.

Figura 4- Microinversor QS1 APsystems



Fonte: APsystems, 2021

Tabela 3- Características técnicas do Microinversor QS1

Dados de entrada (DC)	Modelo QS1- BR
Faixa recomendada de potência do módulo fotovoltaico (STC)	250W <sub>p</sub> -375W <sub>p</sub>
Faixa de tensão do MPPT	22V-48V
Faixa tensão do operador	16V-55V
Tensão máxima de entrada	60V
Corrente de curto-circuito máxima de entrada	12A x 4
Dados de saída (AC)	
Máxima potência contínua de saída	1200W
Máxima potência de saída	1250W
Tensão nominal de saída	220V/176V/242V
Faixa de tensão ajustável de saída	160-278V
Corrente nominal de saída	5.4SA
Frequência nominal de saída	60Hz/57.5Hz-62Hz
Faixa de frequência ajustável de saída	55.1-64.9Hz
Fator de potência	>0.99
Distorção harmônica total	<3%
Corrente máxima de falha (AC) e duração	137 Ap.0.78 ms de duração
Proteção de sobrecorrente máxima de saída	10A
Eficiência	
Eficiência máxima	96.5%
Eficiência nominal MTTP	99.5%
Consumo de energia noturno	30mW
Dados mecânicos	
Faixa de temperatura ambiente de operação	(-) 40°C para + 65°C
Faixa de temperatura de armazenamento	(-) 40°C para + 85°C
Dimensões (LxAxP)	281mm x 231mm x 41.3mm
Peso	4.5Kg
Corrente máxima do cabo tronco	20A
Tipo de conector	MC4 ou customizado
Classificação de proteção	IP67
Comunicação (Inversor com ECU)	Wireless Zigbee
Tipo de Transformadores	Transformadores de Alta frequência
Monitoramento	Via EMA*Portal Online
Garantia	Padrão 10 anos

Fonte: APsystems, adaptado pelos autores, 2021

### 3.2. Cálculos do dimensionamento do arranjo fotovoltaico (*On-Grid* ou *Grid Tie*)

#### 3.2.1. Dados de entrada do Microinversor (CC/CA)

### **3.2.1.1. Potência máxima de entrada do Microinversor em CC ( $P_{CC-MAX}$ )**

É a corrente contínua que o microinversor pode aguentar. Quando o microinversor possuir mais de uma entrada com rastreador de máxima potência (MPPT), a soma de todas as entradas MPPT não deve ultrapassar  $P_{CC-MAX} = 375W_p$ .

### **3.2.2. Tensão máxima de entrada do Microinversor em CC ( $V_{CC-MAX}$ )**

Máxima tensão concedida por entrada MPP que é  $V_{CC-MAX} = 60V$ .

#### **3.2.2.1 Tensão de operação nominal ( $V_{CC-NOM}$ )**

Tensão de operação do microinversor  $V_{CC-NOM} = 16V - 55V$ .

### **3.2.3. Faixa de tensão de operação MPPT do Microinversor ( $V_{FAI-MPP}$ )**

Faixa de tensão para garantir que o microinversor operará em potência máxima.  $V_{FAI-MPP} = 22V - 48V$ .

#### **3.2.3.1. Número de rastreadores de MPPT do Microinversor ( $N_{MPP}$ )**

Número máximo de rastreadores de potência independente do microinversor.  $V_{N_{MPP}} = 1$  por microinversor.

### **3.2.4. Máxima corrente de entrada ( $I_{CC-MAX}$ )**

Máxima corrente de entrada para cada MPPT.  $P_{CC-MPP} = 12A \times 4$  entradas.

### **3.2.5. Dados de saída do Microinversor (CC/CA).**

#### **3.2.5.1. Potência máxima de saída CA ( $P_{CA-MAX}$ )**

Em alguns modelos de microinversores onde pode ser fornecida a potência máxima de saída do microinversor e a potência nominal. Neste caso, ele poderá fornecer potência superior à nominal por alguns intervalos de tempo,  $P_{CA-MAX} = 1250W$  e a nominal é  $P_{CA-NOM} = 1200W$ .

#### **3.2.5.2. Corrente máxima de saída ( $I_{CA-MAX}$ )**

Na corrente máxima de saída do microinversor para condições nominais, os valores de corrente tem importância para o cálculo da bitola do condutor.  $I_{CA-MAX} = 5.45A$ , calcula-se

como disposto na Equação 1.

$$I_{CA-MAX} = \frac{P_{CA-NOM}}{V_{CA}} \quad (1)$$

$$I_{CA-MAX} = \frac{1200 \text{ W}}{220 \text{ V}} = P_{MOD} = 5,45 \text{ A}$$

Onde:

Vca = Tensão de operação em Santos (220V);

Pca-nom = Pca-max. (W).

### 3.2.6. Quadro de distribuição (CA)

O quadro de distribuição CA é constituído pelos elementos de proteção e manobra no lado de corrente alternada após a saída do microinversor.

### 3.2.7 Cálculo do custo de Disponibilidade (ECD)

Levando em conta que o custo de energia seja de R\$ 0,75/ kWh, e a nossa conexão é bifásica com três condutores conforme a resolução da ANEEL N° 414/2010 artigo 98 estabelece, os valores mínimos de entrega de energia (custo de disponibilidade) conforme padrão de conexão com a rede para este projeto será de 50 kWh. Desta forma foi calculado o custo de disponibilidade apresentado na Equação 2.

$$ECD = 0,75 \times 50 = \text{R\$ } 37,50 \quad (2)$$

### 3.2.8. Cálculo da energia média mensal (EM)

É calculada através da média de consumo de energia elétrica dos meses de janeiro até dezembro de 2020. Portanto, é recomendado que a energia do sistema fotovoltaico seja igual à energia média mensal, conforme Equação 3.

$$E_M = \frac{(\text{Consumo Jan}) + (\text{Consumo Fev}) + \dots + (\text{Consumo Dez})}{12} \quad (3)$$

$$E_M = \frac{(\text{jan 2020}) + (\text{fev 2020}) + (\text{mar 2020}) + (\text{abr 2020}) + \dots + (\text{ago 2020}) + (\text{dez 2020})}{12}$$

$$E_M = \frac{610 + 657 + 530 + 606 + 553 + 520 + 588 + 660 + 754 + 790 + 745 + 680}{12}$$

$$E_M = 641,1 \text{ kWh/mês.}$$

### 3.2.8.1. Cálculo da energia mensal de projeto ( $E_{MP}$ )

No dimensionamento deste projeto o sistema é bifásico, sendo o custo de energia disponibilidade ( $E_{CD}$ ) igual a 50 kWh. Para se calcular a energia mensal de projeto ( $E_{MP}$ ) é necessário realizar a diferença entre a conta de energia menos a energia do custo de disponibilidade, Equação 4.

$$E_{MP} = E_M - (E_{CD}) \quad (4)$$

$$E_{MP} = 641,1 - 50$$

$$E_{MP} = 591,1 \text{ kWh/mês}$$

### 3.2.8.2. Cálculo da energia fotovoltaica a ser compensada ( $E_{FV}$ )

A energia fotovoltaica a ser compensada ( $E_{FV}$ ) é igual a energia mensal do projeto ( $E_{MP}$ ), disposto na Equação 5.

$$E_{FV} = E_{MP} \quad (5)$$

$$E_{FV} = 591,1 \text{ kWh/mês}$$

### 3.2.9. Irradiação solar ( $I_{RS}$ )

A Equação 6, mostra a média de irradiação solar ( $I_{RS}$ ) (insolação solar), na cidade de Santos/SP, com base no *SunData*, demonstrada na Tabela 1.

$$I_{RS} = 3,91 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia} \quad (6)$$

### 3.2.10. Cálculo da eficiência do sistema fotovoltaico ( $\eta_{sis}$ )

A eficiência do sistema fotovoltaico ( $\eta_{sis}$ ) conforme Equação 7, é definida pela multiplicação da eficiência devido à poluição do ar ( $\eta_{ar}$ ): < 0,90 – 0,95 >, eficiência devido às perdas térmicas ( $\eta_{ter}$ ): < 0,90 – 0,95 >, eficiência devido ao microinversor ( $\eta_{inv}$ ): < 0,95 – 0,98 > e eficiência devida a vários fatores atípicos como sombreamento, orientação dos módulos ao sul

entre outros fatores (depende de cada caso) ( $\eta_{var}$ ):  $< 0,8 - 1,0 >$ . Em geral os engenheiros para maior prática de aplicação, usam como eficiência do sistema o fator de  $\eta_{sis} = 0,8$ , por ser uma boa estimativa.

$$\eta_{sis} = \eta_{ar} \times \eta_{ter} \times \eta_{inv} \times \eta_{var} \quad (7)$$

### 3.2.10.1. Cálculo da potência de pico fotovoltaico ( $P_{FV}$ )

É necessário saber que o fator 1000 corresponde à  $1000 \text{ W/m}^2$  e foi colocado pois os módulos são fabricados para condições de teste padrão (STC) de Irradiância de  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ , desta forma multiplicamos pela Energia Fotovoltaica ( $E_{FV}$ ) e depois dividimos pela Irradiação solar do local ( $I_{RS}$ ), multiplicando por 30 dias do mês mais a multiplicação da Eficiência do sistema fotovoltaico ( $\eta_{sis}$ ) e achamos a Potência de pico do sistema fotovoltaico, demonstrado na Equação 8.

$$P_{FV} = \frac{1000 \frac{W}{m^2} \times E_{FV}}{I_{RS} \times 30 \text{ dias} \times \eta_{sis}} \quad (8)$$

$$P_{FV} = \frac{1000 \frac{W}{m^2} \times 591,1 \text{ kWh/mês}}{3,91 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{dia}} \times 30 \text{ dias} \times 0,8}$$

$$P_{FV} = 6299 \text{ W}$$

Onde:

$P_{FV}$  = Potência pico do sistema fotovoltaico [W];  
 $E_{FV}$  = Energia Fotovoltaica dado em [kWh /mês];  
 $I_{RS}$  = Irradiação solar do local dado em [kWh/m<sup>2</sup>·dia];  
 $\eta_{sis}$  = Eficiência do sistema fotovoltaico [adm].

### 3.2.11. Cálculo do número de módulos fotovoltaicos ( $N_{MOD}$ ).

A determinação do número de módulos fotovoltaicos ( $N_{MOD}$ ) é apresentado na Equação 9, que neste projeto apresenta  $P_{MOD} = 330 \text{ W}$ .

$$N_{MOD} = \frac{6299 \text{ W}}{330 \text{ W}} \quad (9)$$

$$N_{\text{MOD}} = 19,1$$

A quantidade de módulos fotovoltaicos é uma grandeza que só aceita valores inteiros, portanto, arredondou-se o valor para cima, fazendo com que  $N_{\text{MOD}} = 20$  módulos.

### 3.2.11.1. Cálculo da potência fotovoltaica real instalada ( $P_{\text{FV-INS}}$ ).

É calculada pelo número de módulos do arranjo fotovoltaico vezes a potência de cada módulo, disposto na Equação 10.

$$P_{\text{FV-INS}} = N_{\text{MOD}} \times P_{\text{MOD}} \quad (10)$$

$$P_{\text{FV-INS}} = 20 \times 330 \text{ W}$$

$$P_{\text{FV-INS}} = 6600 \text{ Wp ou } 6,6 \text{ kWh}$$

### 3.2.12. Cálculo da área de instalação do sistema fotovoltaico ( $A_{\text{total}}$ ).

Calcula-se a área total aproximada para a instalação do sistema fotovoltaico através do número de módulos vezes a área do módulo, apresentado na Equação 11.

$$A_{\text{total}} = N_{\text{MOD}} \times A_{\text{MOD}} \quad (11)$$

$$A_{\text{total}} = 20 \times 2 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{total}} = 40 \text{ m}^2$$

Onde:

$A_{\text{total}}$  = Área necessária para instalação do sistema fotovoltaico [ $\text{m}^2$ ];

$N_{\text{MOD}}$  = Número de módulos fotovoltaicos;

$A_{\text{MOD}}$  = Área de cada módulo fotovoltaico [ $\text{m}^2$ ].

## 4. Resultados e discussões

Na Tabela 2 e na Figura 3, foi realizada a multiplicação de todas as variáveis de projeto, incluindo os dias do mês para se achar a energia mensal produzida. Também, foi realizada a conversão da unidade de energia mensal produzida de kWh para MWh/ano, tendo como resultado anual 9,0. Apesar do mês de fevereiro ter ocorrido a maior irradiação solar no ano de ( $5,12\text{kWh}/\text{m}^2$ ), por ter somente 28 dias a média final foi de 908,33 kWh. Portanto, o mês que obteve a maior média de energia produzida foi dezembro com 972,26 kWh e a menor ocorreu no mês de junho com apenas 534,12 kWh. Através das variáveis dimensionadas de

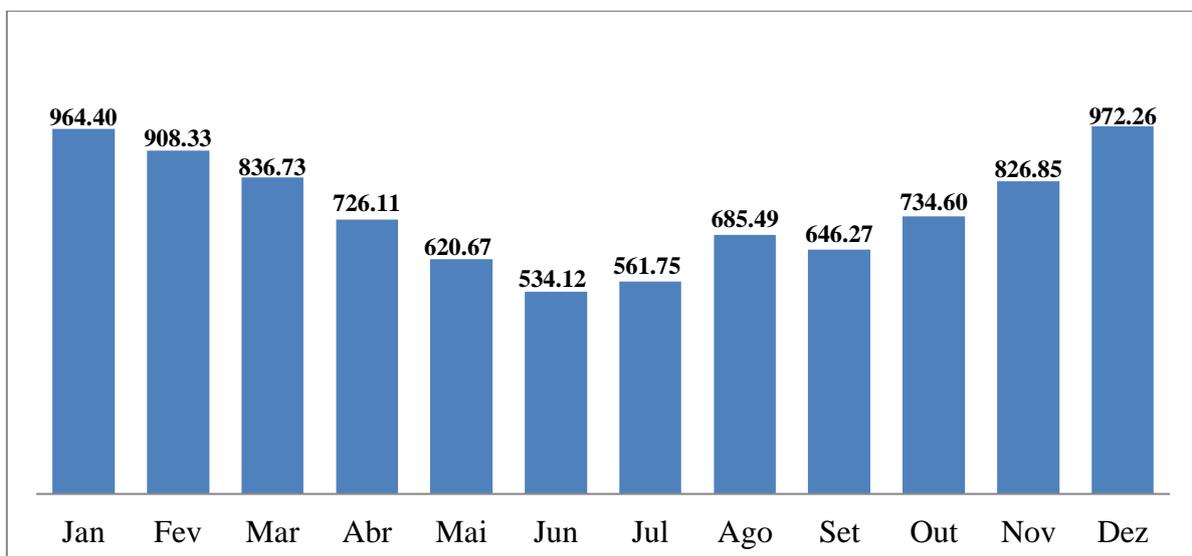
potência instalada, irradiação solar e rendimento do microinversor no projeto fotovoltaico foi calculado a energia mensal produzida e o resultado anual, conforme disposto na Tabela 4 e Figura 5.

Tabela 4- Energia mensal produzida

Mês	Dias	Potência Instalada (kWh)	Radiação Solar (kWh/m <sup>2</sup> )	Rendimento do Microinversor (96,5%)	Energia Mensal Produzida (kWh)
Janeiro	31	6,60	4,91	0,96	964,40
Fevereiro	28	6,60	5,12	0,96	908,33
Março	31	6,60	4,26	0,96	836,73
Abril	30	6,60	3,82	0,96	726,11
Mai	31	6,60	3,16	0,96	620,67
Junho	30	6,60	2,81	0,96	534,12
Julho	31	6,60	2,86	0,96	561,75
Agosto	31	6,60	3,49	0,96	685,49
Setembro	30	6,60	3,40	0,96	646,27
Outubro	31	6,60	3,74	0,96	734,60
Novembro	30	6,60	4,35	0,96	826,85
Dezembro	31	6,60	4,95	0,96	972,26
<b>Total</b>					<b>9017,59</b>

Fonte: Autores, 2021

Figura 5- Energia Mensal Produzida (kWh)



Fonte: Adaptado pelos autores, 2021

## 5. Conclusão

O mundo está cada vez mais preocupado com o aumento e o desenvolvimento industrial

desordenado, causando impactos ambientais muitas vezes irreversíveis, com isso a utilização de fontes naturais de energias ganham cada vez mais espaço. Atualmente vários países tem diminuído a utilização de combustíveis fósseis preocupados, principalmente, com o aumento do aquecimento global. A energia fotovoltaica está passando por um grande crescimento com potencial quase ilimitado, pois a luz solar fornece uma energia mais limpa sem a presença de carbono. Neste trabalho foi realizado a planta e o dimensionamento de um arranjo fotovoltaico de baixa tensão grupo B, onde se utilizou cinco microinversores de CA com potência máxima de entrada de 375W, potência máxima nominal de saída de 1200W e corrente máxima de saída 5,45 A. Foi utilizado vinte painéis fotovoltaicos de potência de 330W cada, em uma área total de 40 m<sup>2</sup>, com uma potência fotovoltaica real instalada de 6,6 kWh. Conclui-se que neste projeto foi respeitado as normas de instalações que estão de acordo com as NBR 5410 e NBR 16690 produzindo uma energia anual de 9.017,59 kWh, sendo a média de energia mensal de 641,1 kWh/mês para uma casa residencial.

## Referências

- ABSOLAR. **Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica**. Infográfico Solar, 2020. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 01 maio. 2021.
- AL-WAELI, A.H., KAZEM, H.A., CHAICHAN, M.T., SOPIAN, K. **A review of photovoltaic thermal systems: Achievements and applications**. Int J Energy Res. 2020. DOI: 10.1002/er.5872.
- ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em 01 maio. 2021.
- APSYSTEMS. Disponível em: <<http://www.wasolar.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Microinversor-AP-systems-Manual-QS-1.pdf>>. Acesso em: 23 Maio.2021.
- ASWAD, T.S.N., RAZALI, M.A.B., AL-WAILY, M. **Numerical Study of the Shape Obstacle Effect on Improving the Efficiency of Photovoltaic Cell**. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. v. 44. 2. p. 209-224. 2021. ISSN: 1024-1752.
- BABU, C., PONNAMBALAM, P. **Economic analysis of hybrid Photovoltaic Thermal Configurations: A comparative study**. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v.43, 100932. 2021. doi: 10.1016/j.seta.2020.100932.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energias. Secretaria de Energia Elétrica- Departamento de Gestão do Setor Elétrico - 2019. Disponível em: <<http://antigo.mme.gov.br/documents/20182/6dac9bf7-78c7-ff43-1f03-8a7322476a08>>. Acesso: 01 maio. 2021.
- CHIN, C.S., GAO, Z., HAN, M., ZHANG, C. **Enhancing performance of photovoltaic panel by cold plate design with guided channels**. IET Renew. Power Gener. v. 14, Iss.9. p.1606-1617. 2020. DOI: 10.1049 / iet-rpg.2019.1042.
- CRESESB- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito- CEPEL- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 10 maio. 2021.

DAHSOLAR. Disponível em:<[https://pt.dahsolarpv.com/poly-solar-panel-72cells-serial-315-320-325-330w\\_p10.html](https://pt.dahsolarpv.com/poly-solar-panel-72cells-serial-315-320-325-330w_p10.html)>. Acesso em: 23 Maio.2021.

EISAPOUR, A.H., EISAPOUR, M., HOSSEINI, M.J., SHAFAGHAT, A.H., SARDARI, P.T., RANJBAR, A.A., **Toward a highly efficient photovoltaic thermal module: Energy and exergy analysis.** Renewable Energy. v. 169. p. 1351-1372. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.110>

HU, M., GUO, C., ZHAO, B., AO, X., SUHENDRI, CAO, J., WANG, Q., RIFFAT, S., SU, Y., PEI, G. **A parametric study on the performance characteristics of an evacuated flat-plate photovoltaic/thermal (PV/T) collector.** Renewable Energy. v. 167. p. 884-898. 2020. doi: 10.1016/j.renene.2020.12.008.

IRENA- International Renewable Energy Agency. **World Adds Record New Renewable Energy Capacity in 2020.** 05 April 2021. Disponível em:< <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2021/Apr/World-Adds-Record-New-Renewable-Energy-Capacity-in-2020>>. Acesso em 04 maio. 2021.

JHA, P., DAS, B., GUPTA, R. **Performance of air-based photovoltaic thermal collector with fully and partially covered photovoltaic module.** Applied Thermal Engineering. v. 180. 115 838. 2020. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115838.

PANG, W., CUI, Y., ZHANG, Q., WILSON, G.J., YAN, H. **A comparative analysis on performances of flat plate photovoltaic/thermal collectors in view of operating media, structural designs, and climate conditions.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. 109599. 2019. doi: 10.1016/j.rser.2019.109599.

PARIDA, B., INIYAN, S., GOIC, R. **A review of solar photovoltaic technologies.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 15. Issue 3. p. 1625-1636. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>.

PARTHIBAN, A., REDDY, K.S, PESALA, B., MALLICK, T.K. **Effects of operational and environmental parameters on the performance of a solar photovoltaic-thermal collector.** Energy Conversion and Management, v. 205. 112428. 2020. doi: 10.1016/j.enconman.2019.112428.

RAJORIA, C.S., KUMAR, R., SHARMA, A., SINGH, D., SUHAG, S. **Development of flat-plate building integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) system: A review.** Materials Today: Proceedings. 2020. doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.790.

SHEIKHOESLAMI, M., FARSHAD, S.A., EBRAHIMPOUR, Z., ZAFAR, S. **Recent progress on flat plate solar collectors and photovoltaic systems in the presence of nanofluid: A review.** Journal of Cleaner Production. v. 293. 126119. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126119>.

TIWARI, A., ALASHQAR, O.A., DIMRI, N. **Modeling and validation of photovoltaic thermoelectric flat plate collector (PV-TE-FPC).** Energy Conversion and Management. v. 205. 112378. 2020. doi: 10.1016/j.enconman.2019.112378.