

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
JOÃO GABRIEL ARANTES AMBROZIO**

**COMPARATIVO DE PERFORMANCE DE MODELOS E TECNOLOGIAS DE PVS,
BEM COMO VIABILIDADES TÉCNICAS E ECONÔMICAS**

**CASCADEL
2023**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
JOÃO GABRIEL ARANTES AMBROZIO**

**COMPARATIVO DE PERFORMANCE DE MODELOS E TECNOLOGIAS DE PVS,
BEM COMO VIABILIDADES TÉCNICAS E ECONÔMICAS**

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Me. Helder José Costa Carozzi.

**CASCADEL
2023**

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

JOÃO GABRIEL ARANTES AMBROZIO

**COMPARATIVO DE PERFORMANCE DE MODELOS E TECNOLOGIAS DE PVS, BEM COMO
VIABILIDADE TÉCNICAS E ECONÔMICAS**

Trabalho apresentado no curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob orientação do Professor Mestre Helder José Costa Carozzi.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Helder José Costa Carozzi
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz



Prof. Esp. Ederson Zanchet
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz



Prof. Me. João Paulo Man Kit Sio
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz

Cascavel, 29 de novembro de 2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu querido Pai, que de onde esteja sempre me deu forças durante meus anos de estudo.

À minha família, mãe, irmã e avós que sempre me apoiaram com todo o amor, atenção e paciência nas horas difíceis. Essa vitória é de vocês!

À minha namorada que durante todo meu curso sempre esteve ao meu lado, se fazendo presente diante de todas as minhas dificuldades.

Aos professores, que ao longo de minha vida acadêmica se dedicaram ao máximo, compartilhando brilhantemente seus conhecimentos

RESUMO

Devido ao aumento no consumo de energia elétrica no Brasil e a majoração das respectivas tarifas, a população busca alternativas renováveis e econômicas, visando a redução de suas despesas mensais. Assim, diante do alto potencial energético que o possui Brasil atualmente, em especial na Região Sul, a energia solar vem expandindo exponencialmente. Com a introdução da Lei Federal nº. 14.300 que entrou em vigor no início do ano de 2023, o setor de energia solar no país, busca trabalhar com os melhores investimentos disponíveis no mercado, a fim de prevenir eventuais prejuízos futuros. Com tamanha diversidade de fabricantes e fornecedores de módulos e inversores existentes no mercado, naturalmente surgem dúvidas ao pretendo investidor no momento da contratação. Desta forma, no que tange a eficiência de cada módulo, para que sejam esclarecidas prováveis dúvidas, realizou-se experimento em campo, com aferição do comportamento das tensões e correntes de quatro módulos fotovoltaicos distintos, comparando-os entre si, para obtenção de resultados, os distinguidos, e indicando qual é o módulo mais eficiente dentre os analisados, independente do fabricante. Ou seja, a finalidade é constatar qual módulo de fato se destacou sob as condições em que foram testados, para projetar um possível investimento em usinas de grande porte, calculando ainda, o *payback* de um módulo que apresentou maior geração de energia elétrica em detrimento daquele que se constatou menor capacidade de geração.

Palavras-chave: Economia, Renovável, Lei Federal, Eficiência, *Payback*.

ABSTRACT

Due to the increased consumption of electrical energy in Brazil and the rising electricity tariff, the population is seeking for renewable and cost-effective alternatives to reduce monthly expenses. With the high energy potential that Brazil possesses, solar energy is becoming increasingly abundant in our region. Therefore, with the introduction of Federal Law 14,300, which came into effect in early 2023, the solar energy sector in the country is searching for the best investments to avoid future losses. The wide variety of module and inverter manufacturers available today can lead to uncertainties during negotiations. Therefore, to address potential questions about which module is the most efficient, a field experiment was conducted to assess the behavior of voltage and current in four photovoltaic modules. The goal was to obtain results that can distinguish and identify the most efficient module under the tested conditions, not to determine which manufacturer is better but rather which module stood out under those conditions for potential investment in large-scale solar farms and to calculate the payback period between the module that generated the most and the one that generated the least electrical energy.

Keywords: Economy, Renewable, Federal Law, Efficiency, Payback.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Projeções futuras crescimento população Brasil – 1950-2100.....	13
Figura 1.2 - Expectativa de geração para suprimento de carga futura.....	14
Figura 1.3 - Fontes elétricas brasileiras.....	15
Figura 1.4 - Crescimento tarifário energia elétrica ANEEL.....	15
Figura 2.1 - Geração centralizada e geração distribuída.....	16
Figura 2.2 - Evolução do Crescimento de Geração Distribuída no Brasil.....	17
Figura 2.3 - Configuração de SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede).....	18
Figura 2.4 - Sistema Off-Grid.....	19
Figura 2.5 - Efeito Fotovoltaico.....	20
Figura 2.6 - Ângulo zenital.....	22
Figura 2.7 - Tipos de influência de radiação solar.....	22
Figura 2.8 - Circuito equivalente de um módulo fotovoltaico.....	23
Figura 2.9 - Curva típica de corrente x tensão.....	24
Figura 2.10 - Curva típica de potência x tensão.....	25
Figura 2.11 - Curva típica de Corrente x Tensão x Potência.....	25
Figura 2.12 - Célula de Silício Monocristalino (mono-Si).....	26
Figura 2.13 - Célula de Silício Policristalino (multi-Si).....	27
Figura 2.14 - Associações série e paralelo.....	28
Figura 2.15 - Curva corrente e tensão sob temperatura.....	28
Figura 2.16 - Característica do módulo ao aumentar a radiação.....	29
Figura 2.17 - Sombreamento sobre a célula fotovoltaica.....	29
Figura 2.18 - Diodo de by-pass.....	30
Figura 2.19 - HSP no território brasileiro.....	32
Figura 2.20 - Coeficiente temperatura módulo BYD.....	34
Figura 3.1 - Localização do experimento.....	39
Figura 3.2 - Instalação dos postes e trilhos.....	40
Figura 3.3 - Instalação dos trilhos.....	41
Figura 3.4 - Fixação dos módulos.....	41
Figura 3.5 - Conexão dos módulos no microinversor.....	43
Figura 3.6 - Detalhe da conexão do circuito elétrico em corrente alternada.....	43
Figura 3.7 - Temperatura do módulo do dia 02 de outubro de 2023.....	44
Figura 3.8 - Gráfico de tensão, corrente e potência do módulo BYD540-MLK-36.....	47
Figura 3.9 - Gráfico de tensão, corrente e potência do módulo CS6W-540MS.....	49
Figura 3.10 - Gráfico de tensão, corrente e potência do JAM72S30-540/MR.....	51
Figura 3.11 - Gráfico de tensão, corrente e potência do JAM72D30-540/MB.....	53

Figura 3.12 - Tensão e corrente de ambos os módulos simultaneamente.....	54
Figura 4.1 - Conexão dos módulos nos micros inversores.....	56
Figura 4.2 - Geração dos módulos referente ao mês de agosto de 2023.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Componentes da Tarifa De Energia.....	37
Quadro 2.2 - Relação entre a Lei 482 e a 14.300.....	38
Quadro 3.1 - Parâmetros climáticos do local.....	42
Quadro 3.2 - Representação nas Strings.....	43
Quadro 3.3 - Temperatura obtida de acordo com horário e dia.....	45
Quadro 3.4 - Dados do módulo BYD540-MLK-36.....	45
Quadro 3.5 - Dados do módulo CS6W-540MS.....	48
Quadro 3.6 - Dados do módulo JAM72S30-540/MR.....	50
Quadro 3.7 - Dados do módulo JAM72D30-540/MB.....	52
Quadro 4.1 - Geração por metro quadrado.....	57
Quadro 4.2 - Dados individuais de geração por módulo.....	58
Quadro 4.3 - Simulação de investimento e <i>payback</i>	59

LISTA DE EQUAÇÕES

2.1 - Equação de Planck-Einstein.....	20
2.2 - Equação da massa de ar.....	21
2.3 - Equação do consumo médio de energia elétrica.....	31
2.4 - Equação de geração do módulo.....	32
2.5 - Equação da quantidade de módulo.....	33
2.6 - Equação da potência do inversor.....	33
2.7 - Equação de limite de tensão por string.....	34
2.8 - Equação da máxima corrente por string.....	34
2.9 - Equação da tensão de circuito aberto com variação de temperatura.....	35
3.1 - Equação genérica de tensão do módulo BYD.....	47
3.2 - Equação genérica de tensão do módulo BYD.....	47
3.3 - Equação genérica de tensão do módulo BYD.....	47
3.4 - Equação genérica de tensão do módulo CANADIAN.....	49
3.5 - Equação genérica de tensão do módulo CANADIAN.....	49
3.6 - Equação genérica de tensão do módulo CANADIAN.....	49
3.7 - Equação genérica de tensão do módulo JA.....	51
3.8 - Equação genérica de tensão do módulo JA.....	51
3.9 - Equação genérica de tensão do módulo JA.....	51
3.10 - Equação genérica de tensão do módulo JA BIFACIAL.....	53
3.11 - Equação genérica de tensão do módulo JA BIFACIAL.....	53
3.12 - Equação genérica de tensão do módulo JA BIFACIAL.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD)	16
2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	17
2.2.1 Sistema <i>On-Grid</i>	18
2.2.2 Sistema <i>Off-Grid</i>	18
2.2.3 Sistema Híbrido	20
2.3 RADIAÇÃO SOLAR	20
2.4. CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	23
2.4.1 Circuito Equivalente	23
2.4.2 Características Elétricas dos Módulos	24
2.4.3 Tipos de Células Fotovoltaicas	26
2.4.4 Ligação das células	27
2.4.5 Influência da Temperatura	28
2.4.6 Influência da Radiação	29
2.4.7 Sombreamento	29
2.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	30
2.5.1 Consumo de Energia.....	31
2.5.2 Horas de Radiação Incidente	31
2.5.3 Definição da Geração por Módulo	32
2.5.4 Definição da Quantidade de Módulos	33
2.5.5 Dimensionamento do Inversor.....	33
2.6 MONITORAMENTO	35
2.7 MEDIDOR BIDIRECIONAL	35
2.8 FERRAMENTA ECONÔMICA	36

2.8.1 Valor Presente Líquido (VPL)	36
2.8.2 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	36
2.8.3 <i>Payback</i>	37
2.9 LEI FEDERAL Nº. 14.300/2022.....	37
3 METODOLOGIA	39
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL	39
3.2 CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA DE SOLO.....	40
3.3 DADOS LOCAIS METEOROLÓGICOS	41
3.4 CONEXÃO DOS MÓDULOS.....	42
3.5 OBTENÇÃO DE DADOS.....	44
3.5.1 Temperatura real	44
3.5.2 Módulo BYD (BYD540-MLK-36).....	45
3.5.3 Módulo Canadian (CS6W-540MS)	47
3.5.4 Módulo JA (JAM72S30-540/MR)	49
3.5.5 Módulo JA bifacial (JAM72D30-540/MB)	52
3.5.6 Comparação de tensão e corrente em conjunto.....	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1 ANÁLISE DE GERAÇÃO DE ENERGIA.....	56
4.2 CUSTOS POR MÓDULO E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	58
4.3 INVESTIMENTO EM USINA DE 3MW	59
5 CONCLUSÃO	61
6 REFERENCIAS.....	63
APÊNDICE A – DIAGRAMA UNIFILAR ANÁLISE DE TENSÃO/CORRENTE .	70
APÊNDICE B – DIAGRAMA UNIFILAR ANÁLISE DE GERAÇÃO	71
APÊNDICE C – DADOS DOS MÓDULOS.....	72
ANEXO A – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO JAM72S30-540/MR ...	86

ANEXO B – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO BYD540-MLK-36	88
ANEXO C – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO JAM72D30-540/MB ...	90
ANEXO D – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO CS6W-540MS	92
ANEXO E - DATASHEET MICROINVERSOR SUN1600G3-US-220	94

1 INTRODUÇÃO

O aumento na demanda de energia elétrica no Brasil está diretamente relacionado ao crescimento populacional no país. Prevê-se que tal demanda continue a aumentar no futuro, exigindo investimentos e pesquisa no setor energético. Segundo dados da ONU apresentados pela Our World In Data (ENGLAND, 2021), a população brasileira está em constante crescimento, embora em ritmo mais lento, com projeção de sua estabilização até metade do século XXI, influenciada pela convergência das taxas de mortalidade e natalidade. A Figura 1.1 ilustra as projeções de crescimento populacional no Brasil de 1950 a 2100.

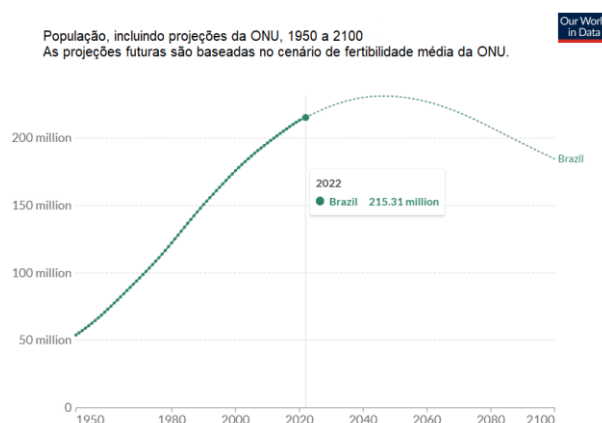


Figura 1.1: Projeções futuras crescimento população Brasil – 1950-2100

Fonte: ENGLAND (2021). Modificado pelo Autor.

Apesar do contexto demográfico, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) revela, em seu relatório de 2023, um aumento de 0,6% no consumo nacional de energia elétrica em janeiro, comparado ao mesmo mês do ano anterior. No período de 12 meses, o consumo totalizou 508.954 GWh, o que representa um aumento de 1,4%. Destaca-se que a classe residencial liderou esse crescimento, com demanda de 1,8% superior ao ano anterior.

Além disso, em 2021, o Brasil enfrentou uma crise hídrica que refletiu em impactos significativos na sociedade em geral, incluindo a redução na oferta de alimentos, escassez de água e comprometimento no abastecimento de energia elétrica. A escassez de água afetou especialmente a agricultura, saneamento e geração de energia, levando ao acionamento de usinas termelétricas e ao aumento dos custos na produção de energia elétrica. Gerando, por sua vez, efeito cascata na

economia, ocasionando o aumento dos preços em geral. (PARMAIS, 2021).

Frente aos desafios atuais, é essencial abordar a segurança na produção de energia elétrica, especialmente diante da escassez hídrica presente no Brasil. O Ministério de Minas e Energia, em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética, destaca a necessidade de expandir fontes renováveis, como energia solar e eólica na matriz energética do país. Essa expansão visa atender o crescimento populacional e o consequente aumento no consumo de energia, conforme indicado na Figura 1.2, representando os planos de investimento do governo para suprimento de energia elétrica, diante da futura demanda elevada (MME; EPE, 2021).

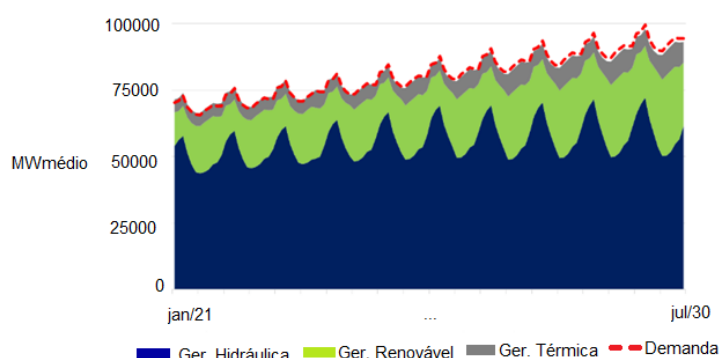


Figura 1.2 – Expectativa de geração para suprimento de carga futura.

Fonte: MME; EPE (2021). [Modificado pelo autor].

A energia solar, de acordo com Pinho e Galdino (2014), é a fonte de energia renovável com maior crescimento no Brasil, superando países como Alemanha, França e Espanha, devido seu alto nível de irradiação solar. As regiões semiáridas brasileiras em especial, possuem relevância, eis que desfrutam de altos níveis de irradiação solar durante todas as estações do ano.

Segundo o Canal Solar (2023), em razão do crescimento da energia solar no mercado brasileiro, atrai-se diversos interessados, desde consumidores até empreendedores. No entanto, é importante destacar que este ramo é um setor complexo, ao qual exige responsabilidade por parte dos fornecedores, em todas suas etapas, desde a oferta e venda dos sistemas fotovoltaicos até a sua instalação.

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a geração de energia elétrica por meio de fontes fotovoltaicas ocupou recentemente o segundo lugar no mix energético brasileiro em termos de geração de eletricidade, superando inclusive a fonte eólica e, conforme ilustrado na Figura 1.3.



Figura 1.3 – Fontes elétricas brasileiras.

Fonte: ABSOLAR (2023).

Os dados publicados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) revelam aumentos semestrais nas tarifas elétricas e nas tarifas que recaem sobre o uso do sistema de distribuição, como observado na Figura 1.4, que ilustra o crescimento tarifário para consumidores residenciais do grupo B na região do Paraná (ANEEL, 2023).

ANEEL					
INICIO VIGÊNCIA	FIM VIGÊNCIA	CLASSE	UNIDADE	TUSD	TE
24/06/2010	23/06/2011	RESIDENCIAL	MWh	188,98	111,02
24/06/2011	23/06/2012	RESIDENCIAL	MWh	193,62	115,64
24/06/2012	23/01/2013	RESIDENCIAL	MWh	160,1	136,16
24/01/2013	23/06/2013	RESIDENCIAL	MWh	117,16	125,42
24/06/2013	23/06/2014	RESIDENCIAL	MWh	123,68	139,87
24/06/2014	01/03/2015	RESIDENCIAL	MWh	138,52	187,85
02/03/2015	23/06/2015	RESIDENCIAL	MWh	193,36	237,01
24/06/2015	23/06/2016	RESIDENCIAL	MWh	209,2	283,11
24/06/2016	31/03/2017	RESIDENCIAL	MWh	190,09	231,38
01/04/2017	23/06/2017	RESIDENCIAL	MWh	190,09	226,04
24/06/2017	23/06/2018	RESIDENCIAL	MWh	191,24	249,32
24/06/2018	23/06/2018	RESIDENCIAL	MWh	219,33	288,19
24/06/2019	23/06/2020	RESIDENCIAL	MWh	243,7	273,91
24/06/2020	23/06/2021	RESIDENCIAL	MWh	250,06	261,91

Figura 1.4: Crescimento tarifário energia elétrica ANEEL.

Fonte: ANEEL, (2023). [Modificado pelo autor]

Deste modo, o presente trabalho, tem o objetivo de apresentar a análise comparativa entre quatro módulos fotovoltaicos de fabricantes distintos, realizado em campo, num período de sete dias e sob mesmos aspectos climáticos, analisando-se assim, o comportamento das tensões e correntes, verificando ainda, se há alguma discrepância entre uma marca e outra, bem como, seu respectivo potencial produtivo na geração de energia elétrica, destinada a um possível investidor, viabilizando a realização de um cálculo e projeção do retorno do investimento a ser realizado, dentre os fabricantes que apresentaram resultados mais expressivos, com relação a aqueles que menos obtiveram êxito em seus resultados, e se tais investimentos representam ao cliente uma diferença positiva significativa em sua renda mensal.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será esclarecido os componentes básicos de um sistema fotovoltaico, como também o funcionamento de geração de energia elétrica.

2.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD)

A geração distribuída (GD) apresenta benefícios tanto para os consumidores quanto para o sistema elétrico, reduzindo perdas de energia, haja vista que a eletricidade é gerada em um determinado local, evitando transmissões de longas distâncias, tornando-se assim, o sistema mais eficiente. Além disso, a GD possibilita a diversificação das fontes de energia, indo além da hidrelétrica ora predominante, o que acarreta a redução de custos, além de aumentar a disponibilidade de energia. Por fim, a geração distribuída incentiva o uso de fontes renováveis e limpas, portanto, trata-se de um método de geração de energia mais sustentável para o meio ambiente (CANAL SOLAR, 2021).

A geração distribuída de energia elétrica refere-se ao uso de geradores situados em locais próximos dos consumidores, diversamente do modelo convencional de geração de grande porte, ao qual dependem de grandes usinas situadas em áreas isoladas, denominada também como geração centralizada. Essa abordagem descentralizada busca proporcionar uma alternativa mais eficiente e próxima às demandas locais de energia, conforme ilustrado na Figura 2.1 (VILLALVA, 2012).

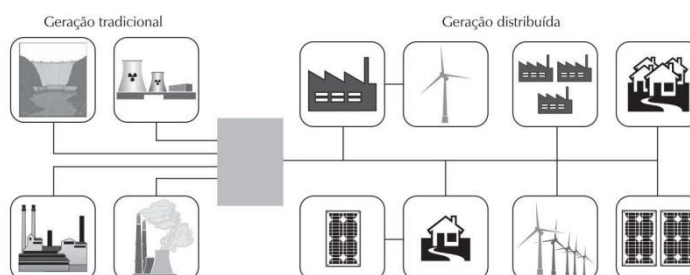


Figura 2.1 – Geração centralizada e geração distribuída.

Fonte: VILLALVA (2012).

Segundo a ANEEL (2023), desde a promulgação da Lei nº. 14.300 em 7 de

janeiro de 2022, as distribuidoras de energia em todo o Brasil já estabeleceram mais de 780.000 conexões de micro e minigeração distribuída, alcançando uma capacidade instalada superior a 7,6 GW. Estes números representam o aumento de 60% no número de conexões, e um acréscimo de 54% na capacidade instalada em comparação aos 13 meses anteriores à promulgação da citada Lei, conforme pode ser observado na figura 2.2.

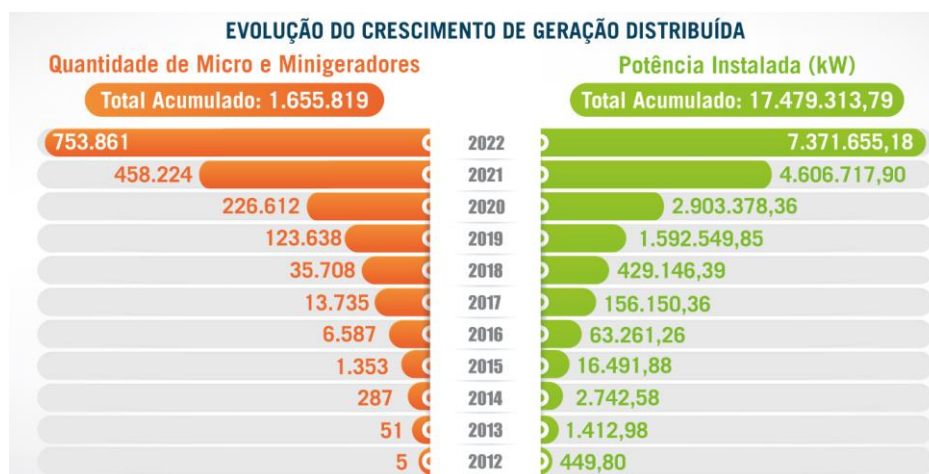


Figura 2.2 – Evolução do Crescimento de Geração Distribuída no Brasil.

Fonte: ANEEL (2023).

A ANEEL (2023), por sua vez, classifica centrais geradoras com potência instalada de até 75kW como micro geradoras, sendo aquelas com potência de 75kW até 3MW enquadradas como minigeradoras, podendo conter até 5MW de potência, em alguns casos.

2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo Brito (1999), o sistema fotovoltaico é a conversão direta da radiação solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico.

De acordo com Canal Solar (2023), o inversor é de extrema importância num sistema fotovoltaico, pois é o responsável por fazer a conversão da corrente contínua gerada pelos painéis, em corrente utilizável, denominada como corrente alternada (CA). Quanto aos modelos de inversores fotovoltaicos, são eles:

- a) Sistema conectado à rede (*On-Grid*);
- b) Sistema isolado (*Off-Grid*);

c) Sistema Híbrido.

2.2.1 Sistema *On-Grid*

O inversor solar *On-Grid* (ou inversor *grid-tie*) é o modelo mais utilizado mundialmente, para conectar o sistema fotovoltaico à rede elétrica residencial, industrial ou comercial, sendo ele projetado para operar com um mecanismo de desligamento instantâneo da rede elétrica, em caso de queda e/ou interrupções de energia (PORTAL SOLAR, 2022).

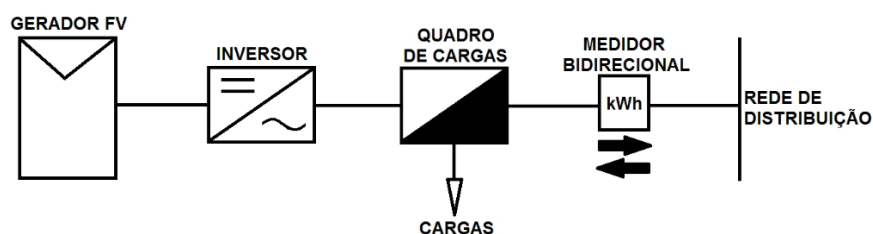


Figura 2.3. Configuração de SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede).

Fonte: BLASQUES; VALE (2012).

O sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica conforme a figura 2.3, funciona em conjunto com a rede elétrica. Tal modelo de sistema é utilizado em locais que já possuem fornecimento de energia elétrica. O propósito do sistema fotovoltaico conectado à rede é gerar eletricidade para consumo local, possibilitando a redução ou até mesmo a eliminação do consumo oriundo da rede pública, além da possibilidade de gerar energia excedente (VILLALVA, 2012).

O diferencial deste sistema, é que não é necessário investimentos em baterias solares como nos demais modelos que serão apresentados, o que permite ao investidor, a redução de recursos financeiros destinados à instalação do sistema, além de gerar economia em sua conta de luz devido à utilização dos créditos advindos da produção de energia, conforme o Artigo 14 do Decreto-Lei nº. 5.163/2004, que define a geração distribuída (PORTAL SOLAR, 2022).

2.2.2 Sistema *Off-Grid*

O sistema de energia solar off-grid, também conhecido como sistema isolado

ou autônomo, se destaca em razão de sua capacidade de se sustentar de forma independente. Esse tipo de sistema é conectado à rede da concessionária, sendo necessária a utilização de baterias para alocar o excedente de energia (VILLALVA, 2012).

A utilização de uma bateria neste caso (Figura 2.4) é essencial para garantir um fornecimento contínuo de energia ao consumidor e evitar desperdícios da energia gerada quando houver baixo consumo. A bateria permite armazenar a energia excedente para uso posterior, principalmente durante períodos de baixa radiação solar, como à noite, dias nublados ou chuvosos. Dessa forma, a presença da bateria é fundamental para otimizar o aproveitamento da energia solar (VILLALVA, 2012).

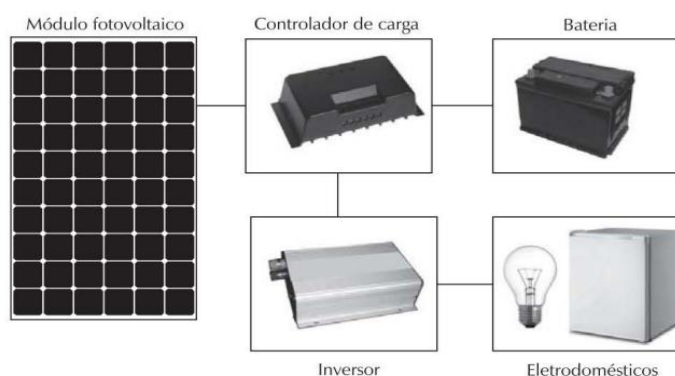


Figura 2.4. Sistema Off-Grid.

Fonte: VILLALVA (2012).

Segundo Villalva (2012), um sistema autônomo de energia solar fotovoltaica é normalmente formado por painéis solares individuais ou conjuntos, um controlador de carga, uma bateria e, dependendo da finalidade, um inversor capaz de converter uma corrente contínua em corrente alternada.

O modelo de sistema solar então citado apresenta ainda, uma vantagem significativa para o cliente, visto que o permite economizar ao longo do tempo, custos da taxa de disponibilidade e impostos relacionados ao uso da rede elétrica da concessionária. Como dito, é um sistema autônomo, logo, não depende da rede elétrica da concessionária. No entanto, a principal desvantagem é o custo elevado das baterias necessárias para o regular funcionamento do sistema. (PORTAL SOLAR, 2021).

2.2.3 Sistema Híbrido

Conforme Alba Energia Solar (2022), o sistema híbrido é a unificação dos sistemas especificados anteriormente, *On-Grid* e *Off-Grid*, possuindo a benesse de injetar energia elétrica na rede da concessionária, para posteriormente reutilizá-la, operando de forma ilhada (isolada), e possibilitando o armazenamento de energia elétrica, para utilização em caso de falta de energia, garantindo maior segurança energética para o consumidor.

2.3 RADIAÇÃO SOLAR

Para a geração de energia elétrica pelos módulos fotovoltaicos, utiliza-se como fonte a radiação solar. A irradiação solar é composta por ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol, que se propagam pelo espaço em todas as direções. A partir do contato de fótons emitidos pelo Sol com o módulo fotovoltaico, gera-se a eletricidade. A equação 2.1, conhecida como equação de Planck-Einstein, demonstra a relação entre a frequência e a energia de uma onda eletromagnética (VILLALVA, 2012).

$$E = h \cdot f \quad \text{Equação 2.1}$$

Em que, E é a energia da onda eletromagnética, dada em *joules*, h significa a constante física de Planck, e f, a frequência da onda eletromagnética.

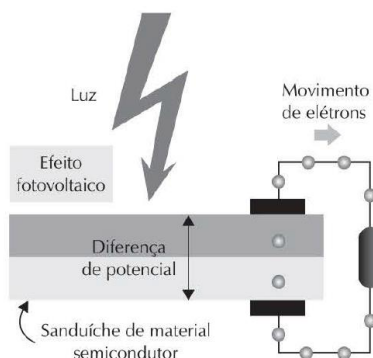


Figura 2.5. – Efeito Fotovoltaico.

Fonte: Villalva, 2012.

Villalva (2012) afirma que, quando as ondas eletromagnéticas podem provocar mudanças nas propriedades elétricas ou gerar tensões e correntes elétricas,

existem vários efeitos elétricos resultantes da radiação eletromagnética sobre os objetos, sendo um deles o efeito fotovoltaico, conforme exemplificado pela figura 2.5.

De acordo com Villalva (2012), o efeito fotovoltaico é a base dos sistemas de energia solar, utilizados para gerar eletricidade. Ele envolve a conversão da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica, por meio da criação de uma diferença de potencial, ou tensão elétrica, em uma célula composta por materiais semicondutores. Quando a célula é conectada a dois eletrodos, uma tensão elétrica é estabelecida entre eles. Se houver um caminho elétrico entre os dois eletrodos, uma corrente elétrica será gerada.

Segundo CEPEL (2004), apenas uma fração da radiação solar emitida pelo Sol atinge de fato, a Terra, mas são três os tipos de radiação solar recebidas pela superfície terrestre, denominadas como radiação direta, difusa e refletida. Existindo-se assim, diversos fatores que impedem a total radiação, composta por interações da atmosfera e a espessura da camada, denominada por coeficiente “Massa de Ar” (AM), pelo ângulo zenital do Sol, distância Terra-Sol, condições atmosféricas e também não menos importante a altitude, hora do dia e as estações do ano.

A massa de ar (AM, do inglês *Air Mass*), é o resultado de fatores como espessura da camada atmosférica, elementos suspensos no ar, vapor de água e poeira, que influenciam na perda de eficiência da radiação solar que atravessa a atmosfera até se chegar à terra (VILLALVA, 2012). Podendo esta ser calculada pela equação 2.2.

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde θ_z é o ângulo zênite, sendo a medida angular entre a direção vertical perpendicular do Sol à Terra (referência) e a direção em que o Sol se encontra conforme a figura 2.6.

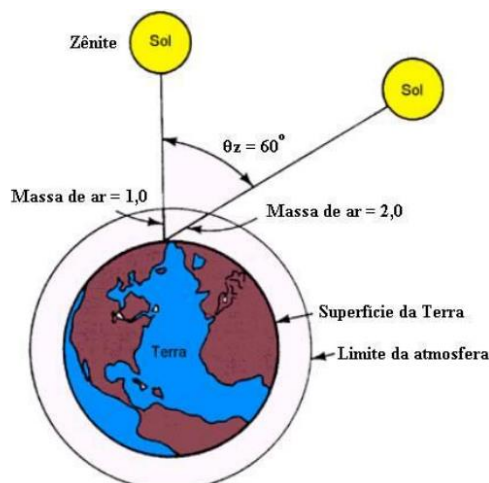


Figura. 2.6. Ângulo zenital.

Fonte: Jucá e Carvalho (2013).

A massa de ar é 1 quando o Sol está exatamente perpendicular com a face da Terra, ou seja, quando possuir a menor distância até o solo, terá maior radiação solar conforme figura 2.6. Quanto maior o ângulo zenital, maior a influência das interações atmosféricas, conseqüentemente, menor será a radiação solar incidente no solo.

A superfície terrestre recebe três tipos de radiação solar, conforme mostrado na figura 2.7.

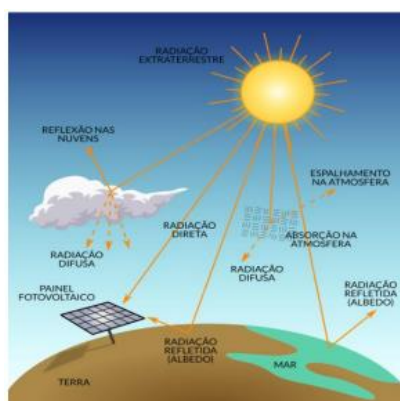


Figura 2.7 – Tipos de influência de radiação solar.

Fonte: Tiepolo; et al., (2017).

Radiação Direta: Refere-se à energia radiante originada diretamente do Sol, sem que passe por desvios significativos durante sua trajetória, exceto devido alterações causadas pela refração atmosférica (MORAIS; SILVA; MORAES; BARBOSA, 2021).

Radiação Difusa: Trata-se da energia radiante que um objeto recebe após a direção dos raios solares serem alterados devido à reflexão ou dispersão na atmosfera, como no caso de passagem por nuvens (MORAIS; SILVA; MORAES; BARBOSA, 2021).

Radiação Refletida: Chamada também de Albedo, que nada mais é que a radiação resultante após ser espelhada (refletida) por intermédio de algum objeto terrestre ou pela própria superfície (MORAIS; SILVA; MORAES; BARBOSA, 2021).

2.4. CÉLULA FOTOVOLTAICA

As células fotovoltaicas são compostas por um material chamado silício, que é um semicondutor. A estrutura molecular do silício é modificada pela introdução de átomos de fósforo ou boro, o que afeta a sua condutividade. Quando o silício é dopado com fósforo, ele se torna do tipo N, enquanto se for dopado com boro, se torna do tipo P. Em uma placa solar especificamente, tais camadas são colocadas em contato, permitindo que os elétrons do lado com um elétron a mais (lado N) se movam para o lado com uma lacuna vazia (lado P) do material dopado com boro. Isso gera um fluxo de elétrons, conhecido como corrente elétrica. (CEMIG, 2012).

2.4.1 Circuito Equivalente

O modelo mais básico de um circuito elétrico de uma célula fotovoltaica é formado por uma fonte de corrente em paralelo com um diodo. É possível aumentar a precisão dos cálculos se considerada as imperfeições por meio de resistências em série e em paralelo (CASARO; MARTINS, 2008), conforme mostrado na figura 2.8.

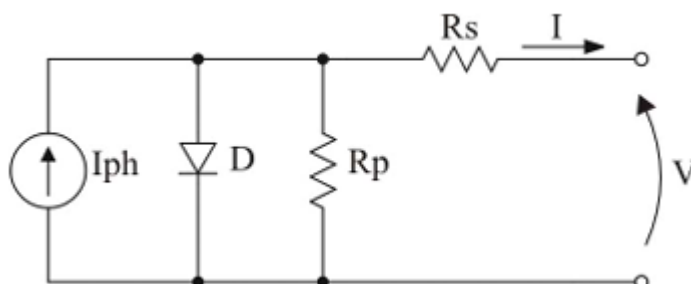


Figura 2.8 - Circuito equivalente de um módulo fotovoltaico.

Fonte: CASARO; MARTINS (2008)

No modelo representado acima, o I_{ph} representa a corrente fotogeradora, sendo que D , representa o diodo que faz a conexão dos semicondutores, R_s e R_p , representam, respectivamente, as resistências em série e em paralela, V e I representam, respectivamente, a tensão e a corrente entregue à carga.

2.4.2 Características Elétricas dos Módulos

As principais características dos módulos fotovoltaicos a serem consideradas para fins de dimensionamento de um sistema são:

V_{oc} (*Voltage Open Circuit*) = Tensão de circuito aberto;

I_{sc} (*Current Short Circuit*) = Corrente de curto-circuito;

V_{mp} (*Voltage Maximum Power*) = Tensão de máxima potência;

I_{mp} (*Current Maximum Power*) = Corrente de máxima potência.

A figura 2.9 representa os parâmetros de I_{sc} e V_{oc} .

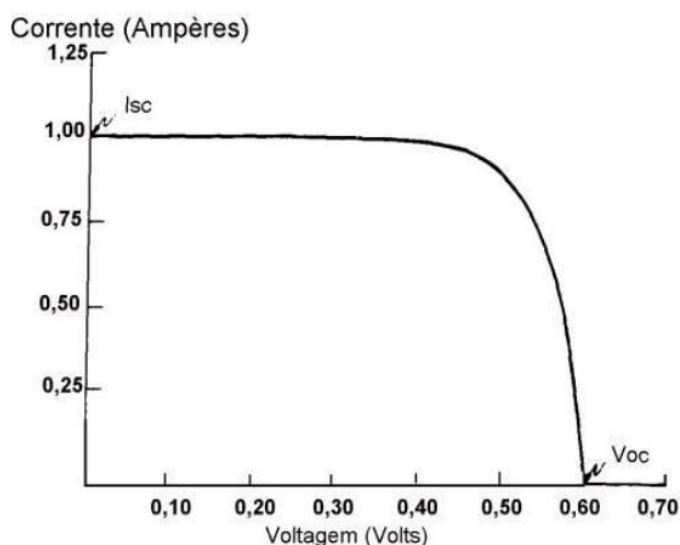


Figura 2.9 – Curva típica de corrente x tensão.

Fonte: Juca e Carvalho (2013).

De acordo com Juca e Carvalho (2013), a potência que está sendo gerada no módulo, é produto da corrente-tensão, que nesse caso, o V_{mp} está representando também a máxima corrente extraída pelo módulo, representada pela figura 2.10.

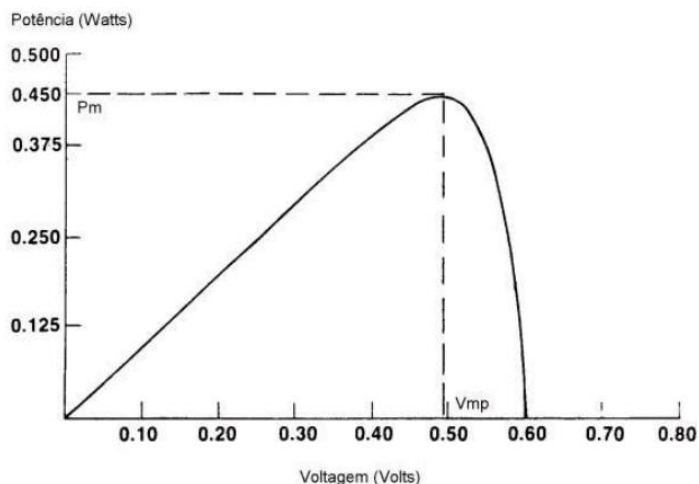


Figura 2.10 – Curva típica de potência x tensão.

Fonte: Juca e Carvalho (2013).

O Ponto de Máxima Potência (P_m) corresponde ao produto da tensão máxima de potência (V_{mp}) e da corrente de máxima potência (I_{mp}). A figura 2.11 representa a figura 2.9 sobreposta à figura 2.10, para análise dos parâmetros elétricos anteriormente citados.

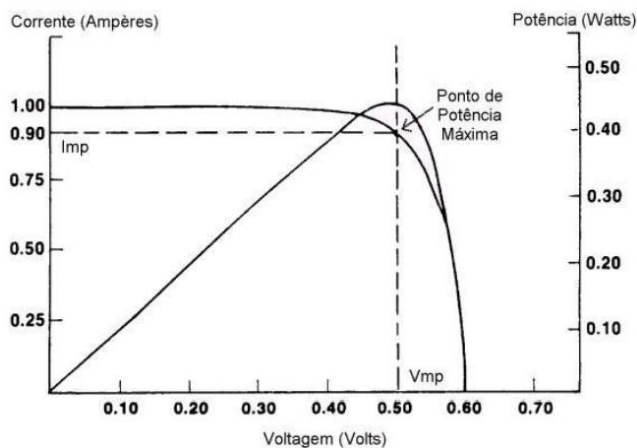


Figura 2.11 – Curva típica de Corrente x Tensão x Potência.

Fonte: Juca e Carvalho (2013).

Insta salientar que, para obtenção dos valores elétricos dos módulos são realizados testes específicos em laboratórios, sob condições padronizadas. É chamado de *Standart Test Conditions* (STC), em que é utilizado como referência a radiação solar em 1000W/m^2 , massa de ar AM 1,5 e a temperatura em 25°C (CASSARO; MARTINS, 2008).

2.4.3 Tipos de Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas produzidas em grandes escalas para comercialização atual são:

- a) Silício Monocristalino;
- b) Silício Policristalino;
- c) Amorfo.

Silício Monocristalino (mono-Si): As células de silício monocristalino possuem maior eficiência, caracterizada por sua alta pureza e estrutura cristalina homogênea (figura 2.12), resultando numa performance com aspecto brilhante e uniforme (VILLALVA, 2012). Os módulos possuem eficiência entre 15% e 18%. Porém, demanda de alto custo para sua fabricação por tratar-se de material específico.

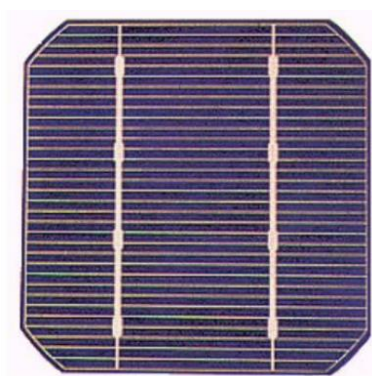


Figura 2.12 – Célula de Silício Monocristalino (mono-Si).

Fonte: Juca e Carvalho (2013).

As células de silício monocristalino (mono-Si) possuem características únicas, em virtude do aspecto uniforme que apresentam, normalmente de cor azul escuro ou preto, a depender do modo de fabricação (VILLALVA, 2012).

Silício Policristalino (multi-Si): As células de silício Policristalino (figura 2.13) são caracterizadas pela visibilidade de manchas sobre o módulo, o que a torna com preço mais acessível, em comparação ao monocrystalino. Para sua fabricação, a célula é formada por cristais de tamanhos e orientações diferentes (VILLALVA, 2012).

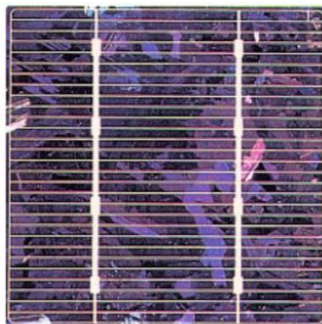


Figura 2.13 – Célula de Silício Policristalino (multi-SI).

Fonte: Juca e Carvalho (2013).

As células de policristalino são de 13% a 15% inferiores no quesito eficiência em comparação com as células de monocristalinos. Contudo, considerando seu baixo custo de fabricação, e consequentemente, o menor preço de mercado para o consumidor final, em linhas gerais, haverá a compensação da diferença negativa constada em sua eficiência (VILLALVA, 2012).

Silício Amorfo: Segundo Pinho e Galdino (2014), as células de silício amorfo, é uma derivação do modelo fotovoltaico filme fino que, geralmente, apresentam problemas de estabilidade quando exposta à luz solar, reduzindo sua vida útil em até 12 meses. Os módulos em questão podem apresentar eficiência na ordem de 10%.

Importante frisar que, a eficiência do módulo não deve ser considerada de forma isolada no momento da escolha ou da contratação. Visto que, para escolha assertiva devem ser sopesadas demais características como custo, durabilidade, reputação do fabricante, dentre outros. (PINHO E GALDINO, 2014).

2.4.4 Ligação das células

Para Carneiro (2010), para se obter a maior potência gerada pelos módulos fotovoltaicos, existem duas possibilidades de conexão, conforme descrito nos itens a e b abaixo:

- a) **Associação em série:** Os módulos fotovoltaicos ligados em série, predominantemente, ligação em fileiras, ou também chamados de *string*, podendo ser utilizado apenas módulos iguais, diminuindo as perdas de geração (CARNEIRO, 2010). Pinho e Galdino (2014) ainda dizem que, em

caso de alocação de módulos diferentes, a corrente estará limitada pelo módulo que menor suportar corrente elétrica.

- b) **Associação em paralelo:** Para Carneiro (2010), a ligação em paralelo é utilizada em casos em que se pretende obter correntes elevadas, mantendo o nível de tensão estipulada no módulo.

Os dois modelos de associações podem ser observados na figura 2.14.

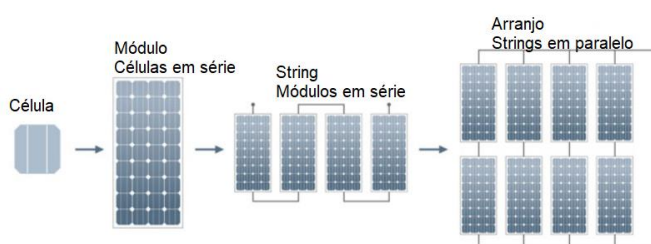


Figura 2.14 – Associações série e paralelo.

Fonte: YOUR HOME (2020). Modificado pelo Autor.

2.4.5 Influência da Temperatura

Segundo Villalva (2012), a temperatura ambiente está ligada diretamente com a tensão. Assim sendo, quanto maior a temperatura, menor a tensão e quanto menor a temperatura, maior a tensão, conforme se verifica na figura 2.15.

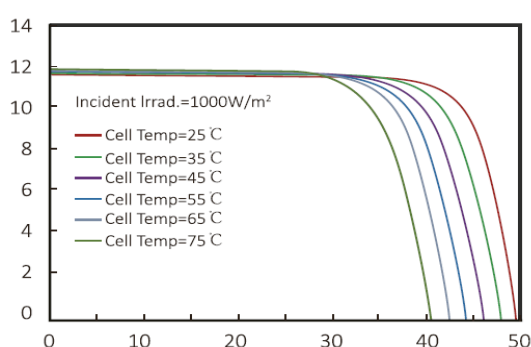


Figura 2.15 – Curva corrente e tensão sob temperatura.

Fonte: BEDINSOLAR (2021).

A corrente gerada pelo módulo não é influenciada pela temperatura. Uma consequência da variação de temperatura do módulo é, quando a temperatura aumenta, a potência diminui, devido a potência ser o produto de tensão e corrente (VILLALVA, 2012).

2.4.6 Influência da Radiação

De acordo com Juca e Carvalho (2013), a radiação solar está diretamente proporcional com a geração de corrente elétrica. Na figura 2.16, é possível observar que, a cada 100 W/m^2 , a corrente elétrica aumenta.

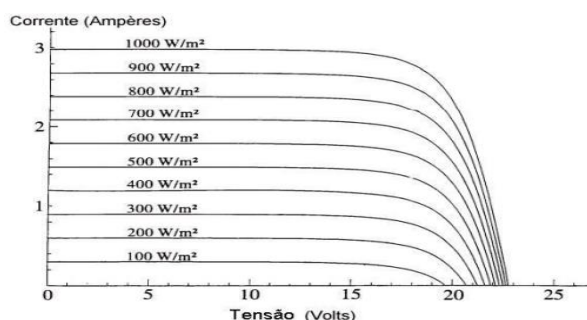


Figura 2.16 – Característica do módulo ao aumentar a radiação.

Fonte: Juca e Carvalho (2013).

Destarte, quanto maior a radiação incidente sobre as células fotovoltaicas, maior será a captação de luz, conseqüentemente, maior eficiência e geração de corrente contínua.

2.4.7 Sombreamento

Um dos fatores para a perda de potência de geração de um sistema fotovoltaico é o sombreamento sobre as células. Pinho e Galdino (2014) afirmam que, o sombreamento limita a passagem de corrente elétrica de todo o conjunto em série do sistema, até mesmo se houver um sombreamento parcial na célula.

Segundo *Luque e Hegedus* (2002), a célula fotovoltaica, na presença de sombreamento poderá apresentar corrente de curto-circuito na cadeia das células, resultando em “*hot spot*”, ponto quente. Se as células atingidas pelo “*hot spot*”, ou seja, células defeituosas, forem forçadas a passar uma corrente que exceda sua capacidade de geração, tornam-se correntes reversas, danificando o módulo fotovoltaico.

Carneiro (2010) exemplifica, a partir de um esquema, de um módulo fotovoltaico onde a queda de uma folha de árvore sobre a célula C36, interrompeu a passagem da corrente elétrica para as demais células, invertendo sua polaridade,

passando a atuar como uma resistência elétrica, conforme figura 2.17.

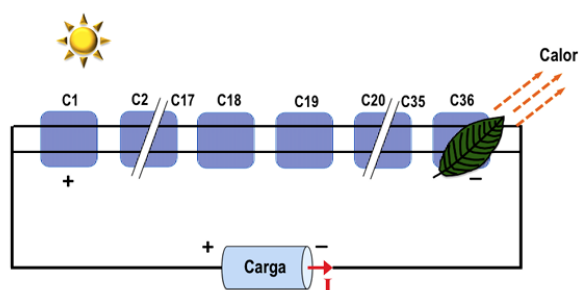


Figura 2.17 – Sombreamento sobre a célula fotovoltaica.

Fonte: Carneiro (2010).

A fim de evitar a formação de pontos quentes, é necessário desviar a corrente da célula sombreada utilizando diodos de by-pass, pois a presença deles impede o surgimento de tensões inversas elevadas nas células fotovoltaicas que estiverem expostas à sombra, permitindo que a respectiva fileira continue gerando normalmente. A figura 2.18 ilustra de forma esquemática o módulo fotovoltaico que possui diodos de by-pass.

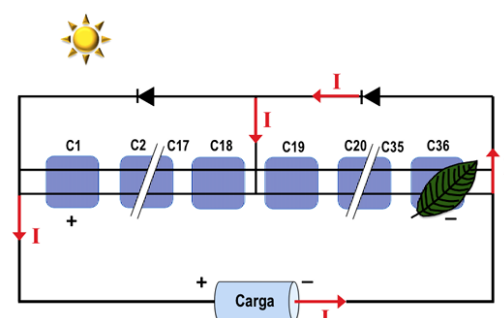


Figura 2.18 – Diodo de *by-pass*.

Fonte: Carneiro (2010).

O diodo de *by-pass* coleta toda corrente necessária para manter a *string* no ponto polarizado, evitando que a energia perdida no sombreamento aumente (Luque;Hegedus, 2002)

2.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para dimensionamento de um sistema fotovoltaico, é necessário seguir as etapas especificadas abaixo:

2.5.1 Consumo de Energia

Para Pinho e Galdino (2014), para dimensionar o gerador de energia fotovoltaica de maneira eficiente, é necessário obter o consumo médio de energia elétrica descontando o valor do custo de disponibilidade mínima de energia (taxa mínima). Essa informação pode ser calculada com base no histórico das faturas mensais emitidas pela concessionária local.

Contudo, segundo a Resolução Normativa nº. 1.059/23 que passou a vigorar em 07 de fevereiro de 2023, em seu artigo nº 291 prevê que, o consumidor deverá pagar à distribuidora somente o maior valor obtido entre o custo de disponibilidade ou à energia referente compensada da rede elétrica.

Sendo assim, de acordo com a nova regulamentação não serão considerados os descontos do custo de disponibilidade de energia para cálculo do dimensionamento fotovoltaico, desde que o consumo apurado seja maior que a taxa mínima.

No que tange ao cálculo do consumo médio, o consumo em Quilowatt-hora (kWh) dos últimos doze (12) meses é somado e dividido por doze (12) meses, conforme a equação 2.3.

$$C_m = \frac{sma}{12} \quad \text{Equação 2.3}$$

Em que, C_m é o consumo médio mensal e sma significa soma dos meses do ano.

2.5.2 Horas de Radiação Incidente

Para se obter o potencial energético incidente sobre o módulo de determinada região, é preciso quantificar a potência recebida pelo módulo por metro quadrado.

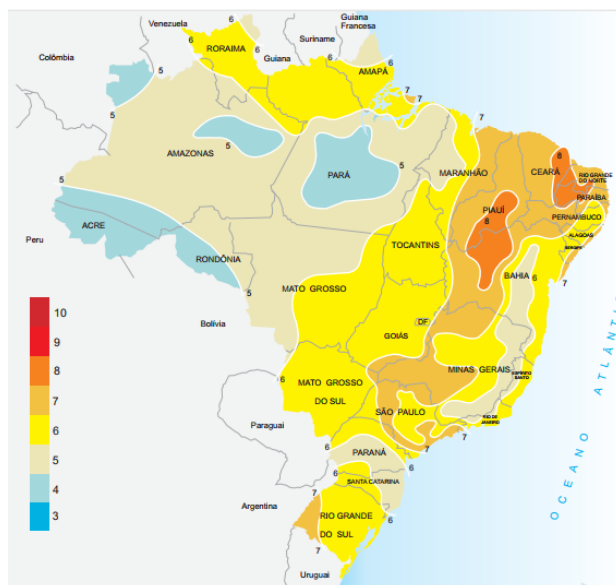


Figura 2.19 – HSP no território brasileiro.

Fonte: TIBA *et al.* (2000).

A respectiva potência é a energia recebida do sol, em forma de radiação, durante um intervalo de tempo no dia (VILLALVA, 2012). A figura 2.19 quantifica as horas de sol pleno (HSP) média/dia anual no Brasil.

Também é possível colher esses resultados acessando o site do CRESESB, fonte de bases meteorológicas, de acordo com as coordenadas geográficas (latitude e longitude) pretendidas, já especificadas em unidades de energia por área (kWh/m²).

2.5.3 Definição da Geração por Módulo

Havendo a definição do modelo de módulo fotovoltaico a ser instalado na edificação, é possível aferir a geração, com base na irradiação daquele local (NERIS, 2021), conforme equação 2.4.

$$G_{\text{módulo}} = \frac{W_p \times HSP \times (1-n) \cdot 30}{1000} \quad \text{Equação 2.4}$$

Em que, $G_{\text{módulo}}$, é a geração do módulo fotovoltaico em kWh (mensal), W_p representa a potência de pico do módulo, HSP horas de sol pleno, n significa a perda de eficiência, e as constantes 30 e 1000, representam respectivamente, trinta dias do mês e mil quilowatt.

2.5.4 Definição da Quantidade de Módulos

Segundo Villalva (2012), efetuado o levantamento do valor a ser gerado pelo módulo diariamente ou mensalmente, é possível determinar a dimensão ideal do sistema para o consumidor, determinando-se ainda, a quantidade de módulos necessários para suprir a necessidade de energia do mesmo, conforme equação 2.5:

$$N_{\text{módulos}} = \frac{E_{\text{sistema}}}{G_{\text{módulo}}} \quad \text{Equação 2.5}$$

Em que, $N_{\text{módulos}}$ representa o número de módulos, E_{sistema} , energia total necessária do sistema fotovoltaico e $G_{\text{módulo}}$, a energia mensal gerada pelo módulo.

2.5.5 Dimensionamento do Inversor

Pinho e Galdino (2014) sustentam que, para que o inversor tenha um desempenho ideal, não deve ser superdimensionado, ou seja, conectado a quantidade de placas superiores à sua potência nominal (*overload*), pois isso, conseqüentemente, acarretará o aumento de temperatura, reduzindo a eficiência do inversor.

Seguindo o raciocínio de Pinho e Galdino, a equação 2.6 representa a potência mínima do inversor.

$$P_{\text{inv}} = N_{\text{módulos}} \times W_p \quad \text{Equação 2.6}$$

Em que, P_{inv} , seria a potência mínima de entrada do inversor, $N_{\text{módulos}}$, a quantidade de módulos e W_p , a potência do módulo.

Conforme dito nos tópicos anteriores por Jucá e Carvalho (2013), a tensão e corrente elétrica estão diretamente proporcionais com a temperatura e irradiação solar incidente sobre os módulos. Portanto, esses parâmetros podem variar durante o dia, tanto para mais, quanto para menos.

Em vista disso, o dimensionamento do inversor deve ser respeitado conforme o *datasheet* de seu fabricante, não extrapolando os limites de tensão e corrente máxima de entrada por *string* e por cada porta MPPT.

Para cálculo dos parâmetros citados acima, verifica-se as equações 2.7 e 2.8.

A conexão em série dos módulos, faz com que a tensão de entrada da *string* do inversor aumente.

$$Voc_{string} = Voc_{mód} \times QUANTMOD_{string} \quad \text{Equação 2.7}$$

Voc_{string} representa a tensão de circuito máxima que a *string* suporta, $Voc_{mód}$ é a tensão de circuito aberto dos módulos e $QUANTMOD_{string}$ é a quantidade de módulos conectados em série na *string* em questão.

Deve-se atentar à quantidade de *strings* em uma MPPT, pois cada *string* fornece uma corrente elétrica que, ao chegar no inversor, as correntes não podem ultrapassar o limite recomendado pelo fabricante.

$$I_{max.entrada} = I_{max.pot(mód)} \times n^{\circ} \text{ strings} \quad \text{Equação 2.8}$$

$I_{max.entrada}$ representa a corrente máxima de entrada da MPPT, e $n^{\circ} \text{ strings}$, a quantidade de *strings* por MPPT.

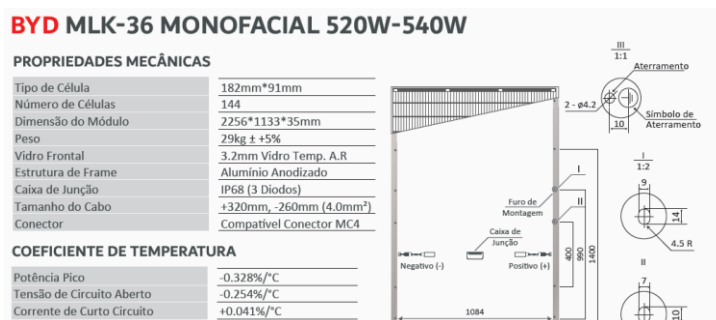


Figura 2.20 – Coeficiente temperatura módulo BYD.

Fonte: BYD (2021).

Importante ressaltar que, a aplicação das fórmulas acima é especificamente para ambientes em que a temperatura ambiente é de 25 °C, conforme os parâmetros do *datasheet*. Os valores de tensão se alteram a depender da temperatura do ambiente. Diante disso, é necessário checar a folha de dados do módulo a fim de dimensionar de forma mais direcionada e específica. Como exemplo, segundo *datasheet* do módulo BYD-540-MLK-36, a tensão de circuito aberto (Voc), possui um coeficiente de temperatura de -0,254%/°C, conforme pode ser observado na figura

2.20.

A fórmula para correção da tensão de um circuito aberto considerando variação de temperatura é dada pela equação 2.9 (PINHO E GALDINO, 2014).

$$Voc(T) = Voc(STC) \times (1 + B \cdot (T - 25)) \quad \text{Equação 2.9}$$

Em que, $Voc(T)$ representa a tensão corrigida, $Voc(STC)$, tensão circuito aberto do *datasheet*, B , coeficiente de variação de temperatura e T , a temperatura para qual o sistema será dimensionado.

2.6 MONITORAMENTO

Segundo Neris (2020), o monitoramento é de suma importância para os investidores em energia solar. Com o monitoramento, é possível verificar o desempenho em tempo real na geração de energia elétrica e possíveis oscilações, para tão logo, corrigi-las.

De acordo com Portal Solar (2021), o sistema fotovoltaico em si, não é apenas a instalação de módulos e conexões nos inversores, eis que fazem parte dele também, a ferramenta de monitoramento, ao passo que garante ao usuário segurança e melhor compreensão sobre o funcionamento de seu sistema solar.

Em geral, o monitoramento é feito por softwares e equipamentos eletrônicos conectados nos inversores e a rede de internet, capazes de captar informações da geração, permitindo ao usuário, a avaliação dos dados de produção de energia de forma *online* (Neris, 2020).

2.7 MEDIDOR BIDIRECIONAL

Os medidores bidirecionais são equipamentos capazes de calcular e registrar a energia, independentemente da direção do fluxo de potência. Eles possuem dois registros distintos, registrando desta maneira, tanto a energia consumida quanto a energia injetada, ou seja, tanto a ativa quanto a reativa. Esses medidores são frequentemente empregados em setores nos quais a análise da direção do fluxo é essencial, como é o caso de consumidores que geram sua própria energia (PINTO FILHO, 2019).

No momento em que a concessionária se dirigir ao local, para ativar o sistema fotovoltaico do consumidor, é obrigatório o acompanhamento de um responsável maior de 18 (dezoito) anos. Caso já exista o medidor bidirecional no local, a concessionária irá realizar apenas a vistoria para conclusão no sistema, ou nos casos em que o medidor for unidirecional, a concessionária fará a substituição do equipamento para bidirecional.

2.8 FERRAMENTA ECONÔMICA

A análise de viabilidade econômica e financeira é de suma importância realizada no âmbito da engenharia econômica. Seu objetivo é identificar os benefícios esperados de um determinado investimento e comparando-os com os custos associados, a fim de determinar se a execução do investimento é viável ou não. A análise de investimentos envolve o uso de técnicas que permitem a comparação entre diferentes alternativas de forma científica. Para fins de análise econômica do investimento, serão utilizados como base de estudo o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback*, entre outros (ZAGO, WEISE, HORNBURG, 2009)

2.8.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O método do Valor Presente Líquido (VPL) é amplamente reconhecido como um método que se baseia no conceito de equivalência, levando-se em consideração o valor temporal dos recursos financeiros. O VPL busca trazer os fluxos de caixa para o tempo presente, considerando a diferença entre receitas e custos atualizados a uma taxa de juros específica. A viabilidade econômica de um projeto, analisada pelo método do Valor Presente Líquido, é determinada pela existência de uma diferença positiva entre as receitas e os custos atualizados (ZAGO, WEISE, HORNBURG, 2009).

2.8.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que faz com que o Valor Presente Líquido (VPL) de um investimento seja igual a zero. Para ser considerado viável o investimento, a TIR deve ser igual ou superior ao custo de capital ou ao custo

de oportunidade da empresa. O referido indicador aponta que a organização está alcançando um retorno superior ao necessário (CHRISTMANN, 2009).

2.8.3 Payback

Payback é o período em que o fluxo de caixa acumulado atinge um saldo positivo, indicando que a empresa recuperou o capital investido. Este momento marca a quitação dos recursos inseridos, geralmente utilizados para custear os primeiros meses do projeto. O *payback* não considera dados além do momento em que o investimento é recuperado, diversamente do ponto de equilíbrio (*break-even*), por exemplo (SEBRAE, 2019).

2.9 LEI FEDERAL Nº. 14.300/2022

Segundo Canal Solar (2022), a Lei Federal nº. 14.300/2022 iniciou um novo marco legal para a geração distribuída. Sancionada pelo ex-presidente (2019 – 2022), em 07 (sete) de janeiro de 2022, assegurando um período de transição para projetos solicitados em até 12 (doze) meses a partir da publicação da mencionada Lei.

A conta de energia do consumidor atendido em baixa tensão é composta por dois componentes, sendo essas, a Tarifa de Energia (TE) e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), conforme quadro 2.1.

TE		TUSD			
ENERGIA	ENCARGOS	FIO A	FIO B	ENCARGOS	PERDAS
38%	12%	6%	28%	8%	8%

Quadro 2.1 – Componentes da Tarifa De Energia.

Fonte: SOLAR INOVE (2022). Modificado pelo autor.

A Lei nº. 14.300/2022 determina que os consumidores que geram sua própria energia, passarão a pagar pelos custos de distribuição em casos de consumo à noite, compensando-a por meio da energia injetada (ALPHA SOLAR, 2022). Anteriormente, quando vigente a Lei nº. 482/2012, a concessionária não era compensada em valor monetário pela utilização da rede elétrica. O quadro 2.2 relaciona a Lei atualmente

vigente com a anterior.

TEMA	COMO ERA A REN 482/2012	LEI 14.300/2022
VALORAÇÃO DOS CRÉDITOS	COMPENSAÇÃO DE 100% DAS COMPONENTES TARIFÁRIAS	ALGUMAS COMPONENTES DEIXARÃO DE SER COMPENSADAS DE FORMA GRADUAL E ESCALONADA DE ACORDO COM A REGRA DE TRANSIÇÃO PREVISTA

Quadro 2.2 – Relação entre a Lei 482 e a 14.300.

Fonte: ALPHASOLAR (2022). Modificado pelo autor.

Antes da tarifação, as concessionárias de energia elétrica eram remuneradas apenas pelo custo de disponibilidade, ou seja, a taxa mínima. Com o advento da nova Lei, o valor pago às concessionárias estará atrelado à quantia de energia compensada (CHEUAZU, 2023).

Sendo que, de fato será modificado pela Lei nº. 14.300/2022 o aumento gradual da cobrança do Fio B, por ano da componente TUSD conforme estabelecido pela Aneel. Segundo Solar Inove (2022), o valor do Fio B é calculado pelas concessionárias e validado pela Aneel. Ademais, o valor desta componente não é estável, podendo variar de acordo com a área populacional, assim, quanto mais densa a população de uma determinada área, menor é o valor do Fio B e quando menos populoso mais elevado o valor.

Segundo a Aneel (2022), a Lei Federal nº 14.300/2022, em seu Artigo 27, diz que, as unidades participantes do sistema de compensação de energia elétrica, deverão considerar o pagamento total da energia compensada pelo uso da rede em relação aos serviços de distribuição, com escalonamento em porcentagens conforme a seguir:

- I - 15% (quinze por cento) a partir de 2023;
- II - 30% (trinta por cento) a partir de 2024;
- III - 45% (quarenta e cinco por cento) a partir de 2025;
- IV - 60% (sessenta por cento) a partir de 2026;
- V - 75% (setenta e cinco por cento) a partir de 2027;
- VI - 90% (noventa por cento) a partir de 2028;
- VII – 100 (cem por cento) a partir de então.

3 METODOLOGIA

Neste tópico, será apresentada a análise em etapas para comparação dos módulos fotovoltaicos citados, desde a caracterização do local definido, levantamento de dados meteorológicos, construção da estrutura e obtenção de dados através do monitoramento realizado utilizando-se aplicativo de celular do microinversor.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O local definido para o presente trabalho situa-se em Nova Aurora/PR, no endereço Ramal Um, próximo a PR-180 entre Nova Aurora e Cafelândia conforme a figura 3.1, localizado nas coordenadas geográficas latitude - 24.55633788763026 e longitude - 53.2429296799371.



Figura 3.1 – Localização do experimento.

Fonte: Autor.

A definição deste empreendimento se deu por já existir uma usina de minigeração de 300kW de potência instalada naquela localidade, com projeto devidamente homologado pela concessionária local de energia elétrica, o que garante que não haverá quaisquer danos à rede elétrica da concessionária, devido ao fluxo de potência de energia injetada compatível com a dimensão da instalação de tal projeto.

3.2 CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA DE SOLO

Para a instalação dos módulos em questão, foram utilizados os seguintes materiais:

1. 2 postes de 0,80metros;
2. 2 postes 1,75metros;
3. 3 trilhos metálicos de 2,1 metros;
4. 2 trilhos metálicos de 4 metros.
5. 8 end-clamps;
6. 4 mid-clamps;
7. 2 perfurantes de condutor;
8. Internet 2,4Ghz.

A figura 3.2 demonstra o processo de instalação dos postes no solo, com espaçamento adequado para obter inclinação de 30° em relação a azimute.



Figura 3.2 – Instalação dos postes e trilhos.

Fonte: Autor.

A figura 3.3 é o processo de fixação dos trilhos para alocação dos módulos

fotovoltaicos, para ficarem bem fixados, evitando eventual sinistro durante o período de teste.



Figura 3.3 – Instalação dos trilhos.

Fonte: Autor.

Nesta etapa da figura 3.4, os módulos já estão alocados e fixados, prontos para serem conectados nos inversores.



Figura 3.4 – Fixação dos módulos.

Fonte: Autor.

A parte de conexão dos condutores será representada pelo apêndice A.

3.3 DADOS LOCAIS METEOROLÓGICOS

O local escolhido possui altitude de 489 metros em relação ao nível do mar. A

irradiação solar, segundo fontes do CRESESB, para o mês de setembro é em média de 4,81 horas (correspondente a quatro horas e quarenta e oito minutos) de sol pleno por dia, fazendo com que os módulos trabalhem constantemente em sua potência máxima permitida, de acordo com as condições climáticas. Os dados meteorológicos coletados no local encontram-se no quadro 3.1.

Altura (MAR)	Irradiação	Pressão (ATM)	Velocidade dos ventos	Umidade R.	Orien.	Incli.	Temp.
489 metros	800W/m ²	1009hPa	10 m/s	78%	NORTE	30°	21,3°C~ 34,1°C

Quadro 3.1 – Parâmetros climáticos do local.

Fonte: Autor.

A irradiação dita na tabela é a máxima irradiação para o local nesta época do ano, pois ela se enquadra nos parâmetros dos *datasheets* dos módulos, no entanto, podendo variar dependendo do horário do dia e do clima, assim como a temperatura, velocidade do vento e umidade. As informações como inclinação, orientação, pressão atmosférica e altura em relação ao nível do mar, são fixas.

Vale ressaltar que, ambos os módulos estão expostos sob as mesmas condições climáticas e características de instalação como orientação e inclinação, visando uma comparação mais justa possível.

Os dados de altura e velocidade do vento foram obtidos através do aplicativo Google Earth®, pressão atmosférica e umidade foram coletados através do site de previsão do tempo Clima tempo.

3.4 CONEXÃO DOS MÓDULOS

Cada módulo fotovoltaico foi utilizado em uma entrada (*string*) do microinversor, podendo ser monitorado de forma independente e em conjunto com os demais, melhor visualizando os gráficos. Foi utilizado este modelo de arranjo (figura 3.3) em razão da análise de corrente e tensão entre os módulos, e por fim, verificar o desempenho de cada um em tempo real para uma melhor comparação. O quadro 3.2 representa qual módulo está conectado em uma determinada entrada do microinversor.

PV1	PV2	PV3	PV4
JA	BYD	JA BIFACIAL	CANADIAN

Quadro 3.2 – Representação nas Strings.

Fonte: Autor.

O módulo da JA (JAM72S30-540-MR) faz conexão única com a entrada PV1, o módulo BYD (BYD540-MLK-36) com a entrada PV2, o módulo JA (JAM72D30-540-MB) com a entrada PV3 e o módulo CANADIAN (CS6W-540MS) com a entrada PV4, conforme mostra a figura 3.5.



Figura 3.5 – Conexão dos módulos no microinversor.

Fonte: Autor.

Como o microinversor possui tensão nominal de operação de 220Vca e a usina local para teste possui apenas tensão de 380Vca, foram utilizados dois cabos de 6mm², sendo um cabo conectado na fase R do inversor e o outro cabo conectado no neutro, conforme ilustra a figura 3.6.



Figura 3.6 – Detalhe da conexão do circuito elétrico em corrente alternada.

Fonte: Autor.

Para melhor visualização do circuito completo da usina, observa-se o diagrama unifilar no apêndice A.

3.5 OBTENÇÃO DE DADOS

Nesta etapa, foram coletados os dados de tensão e corrente de cada módulo fotovoltaico para análise independente e ao final, analisando-se de modo geral, num período de sete dias do mês de outubro (1º dia ao 7º dia) do corrente ano.

3.5.1 Temperatura real

Com o objetivo de avaliar se o comportamento da tensão do módulo está de acordo com o respectivo fabricante, coletou-se informação acerca da temperatura local uma vez por dia, no decorrer dos sete dias de análise. Por se tratar de um local remoto e em período de expediente, não foi possível realizar a coleta de dados mais vezes ao dia para uma análise mais precisa.

Para fins de ilustração, segue a imagem contida na figura 3.7, em que indica a temperatura obtida em uma determinada hora do dia, que neste caso, 16 horas e 50 minutos do dia 02 do mês de outubro do ano de 2023. As demais leituras também foram realizadas de igual forma, todavia, optou-se por representar tais informações em uma tabela, com intuito de evitar demais delongas, sendo mais objetiva e explicativa a tabela.

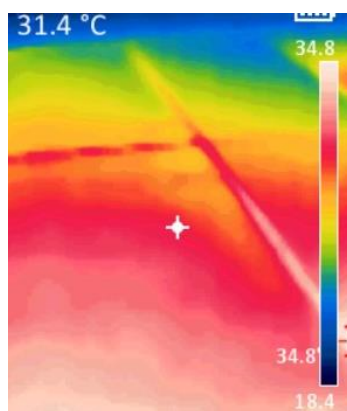


Figura 3.7 – Temperatura do módulo do dia 02 de outubro de 2023.

Fonte: Autor.

A imagem foi capturada através do equipamento Toplia às 16 horas e 40 minutos, registrando 31,4°C de temperatura sobre os módulos.

O quadro 3.3 demonstra os sete dias de análise, qual a temperatura capturada nos módulos e em qual horário do dia.

DIA	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
TEMPERATURA	--	31,4°C	21,3°C	--	22,1°C		
HORÁRIO	--	16:40	08:20	--	17:30		

Quadro 3.3 – Temperatura obtida de acordo com horário e dia.

Fonte: Autor.

Durante a análise, não foi possível coletar os dados acima expostos, todos os dias conforme se havia proposto devido ao uso para assistências técnicas.

3.5.2 Módulo BYD (BYD540-MLK-36)

O módulo da Build Your Dreams (BYD) nacional, é montado apenas no Brasil. Porém, este módulo é fornecido com peças prontas importadas da China, e por conta dessa característica, existem algumas restrições para financiamentos projetados com este modelo. Vale mencionar que, isto não significa que a placa importada (comprada e montada pronta) seja melhor, até porque o método de construção e elementos constituintes dos módulos são os mesmos.

As informações do módulo podem ser visualizadas pelo *datasheet* do fabricante no anexo A.

O quadro 3.4 relaciona a corrente e a tensão do módulo a cada 30 minutos do dia 02 de outubro para comparação do *datasheet* do fabricante, para assim verificar se as grandezas elétricas estão de acordo com as variações de temperaturas do local.

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:14	0V	0A	0W	--	0kWh
06:44	35,90V	0,10A	3,59W	--	0kWh
07:14	33,80V	0,90A	30,42W	--	0kWh
07:45	38,70V	2,20A	85,14W	--	0kWh

08:15	36,20V	3,80A	137,56W	--	0kWh
08:47	34,40V	6,30A	216,72W	--	0,10kWh
09:14	36,10V	7,30A	263,53W	--	0,30kWh
09:44	37,40V	8,70A	325,38W	--	0,40kWh
10:15	39,30V	9,20A	361,56W	--	0,60kWh
10:45	37,70V	9,40A	354,38W	--	0,70kWh
11:16	40,20V	6,90A	277,38W	--	0,90kWh
11:46	39,50V	8,40A	331,80W	--	1kWh
12:15	39,40V	9,80A	386,12W	--	1,20kWh
12:45	39,40V	9,90A	390,06W	--	1,40kWh
13:15	39V	6,80A	265,20W	--	1,60kWh
13:46	40,10V	8,20A	328,82W	--	1,70kWh
14:16	42,60V	7,50A	319,50W	--	1,90kWh
14:47	23,60V	12,30A	290,28	--	2kWh
15:15	35,60V	8,50A	302,60W	--	2,20kWh
15:45	34,60V	6,60A	228,36W	--	2,30kWh
16:16	39,30V	3,20A	125,76W	--	2,40kWh
16:46	37,20V	4,70A	174,84W	31,4°C	2,50kWh
17:17	37,50V	2,80A	105W	--	2,50kWh
17:47	27,50V	1,40A	38,50W	--	2,60kWh
18:16	36,50V	0,30A	10,95W	--	2,60kWh
18:39	0V	0A	0W	--	2,60kWh

Quadro 3.4 – Dados do módulo BYD540-MLK-36.

Fonte: Autor.

O quadro 3.4 pode ser observado de outra forma, a partir do gráfico gerado pelo monitoramento representado pela figura 3.8.

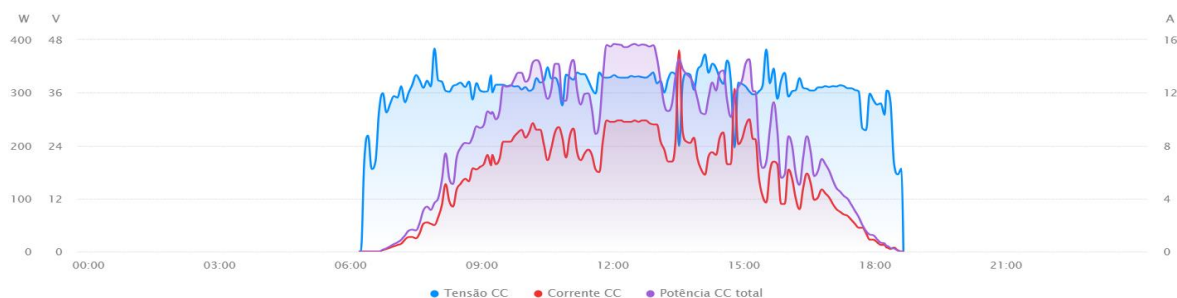


Figura 3.8 – Gráfico de tensão, corrente e potência do módulo BYD540-MLK-36.

Fonte: Autor.

Pode-se observar da potência ativa do módulo que, devido a irradiação solar ser menor nesta época do ano, o módulo está trabalhando com sua potência máxima aproximadamente de 400W. Sendo assim, de acordo com o *datasheet* do módulo, é possível associar a irradiância local, que neste caso é de 800 W/m², pois os valores de tensão, corrente e potência foram semelhantes.

Para verificar se a referida tensão está de acordo com o *datasheet*, a equação 3.1 foi aplicada com o dado de temperatura obtida às 16 horas e 50 minutos.

$$V(\text{calculada}) = -(V(\text{módulo}) \times 0,254\% \times 6,4) + V(\text{módulo}) \quad \text{Equação 3.1}$$

Resolvendo:

$$V(\text{calculada}) = -(42,05V \times 0,254\% \times 6,4^{\circ}\text{C}) + 42,05 \quad \text{Equação 3.2}$$

$$V(\text{calculada}) = 41,36V. \quad \text{Equação 3.3}$$

De acordo com o *datasheet*, a tensão do módulo reduziu conforme a variação térmica dele, portanto, os valores são condizentes com os indicados pelo fabricante.

Os parâmetros para observar se o módulo está de acordo, devem ser os dados elétricos (STC – Condição de teste padrão), no qual, são dados fornecidos pelo fabricante e testados o módulo à 1000W/m², temperatura ambiente de 25° C e espectro AM de 1,5.

3.5.3 Módulo Canadian (CS6W-540MS)

Sendo uma das marcas mais antigas e renomadas no comércio de energia fotovoltaica do mundo, a marca foi fundada no Canadá, mas atualmente atua em todas as regiões. As informações do *datasheet* podem ser observadas no anexo B.

O quadro 3.5 representa o desempenho da tensão e corrente do módulo a cada 30 minutos do dia 02 de outubro de 2023, e sua potência nominal de trabalho em tempo real.

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:14	0V	0A	0W	--	0kWh
06:44	27,20V	0,10A	2,72W	--	0kWh
07:14	37,90V	0,80A	30,32W	--	0kWh
07:45	39,80V	2A	79,20W	--	0kWh
08:15	37,60V	3,40A	127,84W	--	0kWh
08:47	37V	6A	222W	--	0,10kWh
09:14	37,10V	7A	259,70W	--	0,30kWh
09:44	37,10V	8,90A	330,19W	--	0,40kWh
10:15	37,30V	9,70A	361,81W	--	0,60kWh
10:45	36,50V	9,60A	350,40W	--	0,70kWh
11:16	38,30V	7,50A	287,25W	--	0,90kWh
11:46	40,70V	8,40A	341,88W	--	1,10kWh
12:15	40,10V	9,90A	396,99W	--	1,20kWh
12:45	40V	9,90A	396W	--	1,40kWh
13:15	39,20V	6,90A	270,48W	--	1,60kWh
13:46	42V	7,60A	319,20W	--	1,80kWh
14:16	39,10V	8,10A	316,71W	--	1,90kWh
14:47	38,50V	8,10A	311,85W	--	2,10kWh
15:15	40,50V	8A	324W	--	2,20kWh
15:45	34,80V	7,20A	250,56W	--	2,40kWh
16:16	36,10V	3,50A	126,35W	--	2,50kWh
16:46	36,50V	4,90A	178,85W	31,4°C	2,50kWh
17:17	38V	2,90A	110,20W	--	2,60kWh
17:47	37,80V	1A	37,80W	--	2,60kWh
18:16	28,80V	0,30A	8,64W	--	2,70kWh
18:39	0V	0A	0W	--	2,70kWh

Quadro 3.5 – Dados do módulo CS6W-540MS.

Fonte: Autor.

Os dados inseridos no quadro 3.5 podem ser confirmados no gráfico representado pela figura 3.9, em que se realizou monitoramento por aplicativo de celular, e condizentes com as informações.

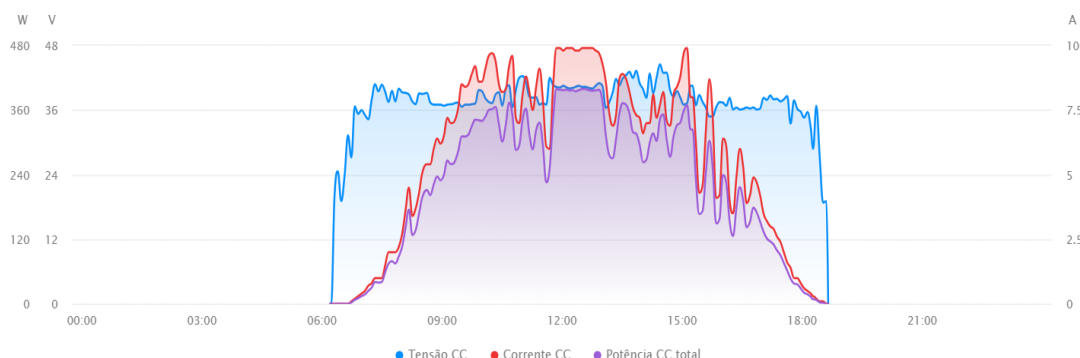


Figura 3.9 - Gráfico de tensão, corrente e potência do módulo CS6W-540MS.

Fonte: Autor.

Observa-se que, a potência do módulo está relacionada diretamente com a influência da radiação solar. Desta forma, conforme aumenta a radiação, a corrente elétrica (vermelho) aumenta de forma proporcional, resultando em características de gráficos semelhantes.

Calculando a tensão aproximada em que o módulo trabalhou:

$$V(\text{calculada}) = -(V(\text{módulo}) * 0,26\% * 11,4) + V(\text{módulo}) \quad \text{Equação 3.4}$$

Resolvendo:

$$V(\text{calculada}) = -(41,3V * 0,26\% * 6,4^{\circ}\text{C}) + 41,03V \quad \text{Equação 3.5}$$

$$V(\text{calculada}) = 40,61V \quad \text{Equação 3.6}$$

Como a temperatura não foi extraída no horário exato dos dados de monitoramento, poderá haver pequenas diferenças nos cálculos, resultando em valores diferentes. Porém, a tensão reduziu conforme esperado pelo *datasheet*.

3.5.4 Módulo JA (JAM72S30-540/MR)

Sendo uma das fabricantes atualmente comercializadas em alta escala, a JA

está presente em todos os continentes, assim como os demais.

O quadro 3.6 mostra o desempenho do módulo a cada 30 minutos do dia 02 de outubro de 2023.

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:14	0V	0A	0W	--	0kWh
06:44	37,70V	0,10A	3,77W	--	0kWh
07:14	38,30V	0,80A	30,64W	--	0kWh
07:45	38,90V	2A	77,80W	--	0kWh
08:15	35,90V	3,60A	129,24W	--	0kWh
08:47	35,20V	5,70A	200,64W	--	0,10kWh
09:14	36,90V	7,10A	261,99W	--	0,20kWh
09:44	36,40V	8,70A	316,68W	--	0,40kWh
10:15	39,50V	8,90A	351,55W	--	0,60kWh
10:45	36V	9,80A	352,80W	--	0,70kWh
11:16	36V	8,30A	298,80W	--	0,90kWh
11:46	39,9V	8,50A	339,15W	--	1kWh
12:15	39,60V	9,80A	388,08W	--	1,20kWh
12:45	39,80V	9,80A	390,04W	--	1,40kWh
13:15	38,80V	6,70A	259,96W	--	1,60kWh
13:46	40,80V	8,20A	334,56W	--	1,70kWh
14:16	41,60V	7,70A	320,32W	--	1,90kWh
14:47	29,10V	10,10A	293,91W	--	2,10kWh
15:15	36,70V	8,10A	297,27W	--	2,20kWh
15:45	34,80V	7,10A	247,08W	--	2,30kWh
16:16	35,40V	3,50A	123,90W	--	2,40kWh
16:46	38,10V	4,60A	175,26W	31,4°C	2,50kWh
17:17	37,60V	2,80A	105,28W	--	2,50kWh
17:47	36,30V	1A	36,30W	--	2,60kWh
18:16	37V	0,20A	7,40W	--	2,60kWh
18:39	0V	0A	0W	--	2,60kWh

Quadro 3.6 - Dados do módulo JAM72S30-540/MR.

Fonte: Autor.

A temperatura de 31,4°C influencia diretamente na tensão de operação do módulo fotovoltaico. Segundo o *datasheet*, a cada grau (°C) que aumenta, o módulo reduz 0,275% de tensão de operação, e para cada grau que diminui, a tensão do módulo aumenta na mesma porcentagem.

Como a temperatura do local às 16 horas e 46 minutos foi de 31,4°C, e a temperatura de teste em 800W/m² do *datasheet* é de 25°C, há uma diferença de 11,4°C a mais, logo, a tensão terá que diminuir. O cálculo da tensão correta para analisar se está de acordo os dados obtidos é representado pela equação 3.3.

$$V(\text{calculada}) = -(V(\text{módulo}) * 0,275\% * 11,4) + V(\text{módulo}) \quad \text{Equação 3.7}$$

Resolvendo:

$$V(\text{calculada}) = -(41,64V * 0,275\% * 6,4^{\circ}\text{C}) + 41,64V \quad \text{Equação 3.8}$$

$$V(\text{calculada}) = 40,90V. \quad \text{Equação 3.9}$$

Como a informação da temperatura não foi obtida exatamente às 16 horas e 46 minutos (horário exato da coleta dos dados da tensão do módulo), poderá haver pequenas alterações do clima nesse intervalo de tempo, influenciando, ainda que minimamente, no resultado. Entretanto, a tensão diminuiu conforme esperado de acordo com a fórmula do *datasheet*.

Os dados obtidos do módulo por meio do monitoramento, são representados pela figura 3.10.

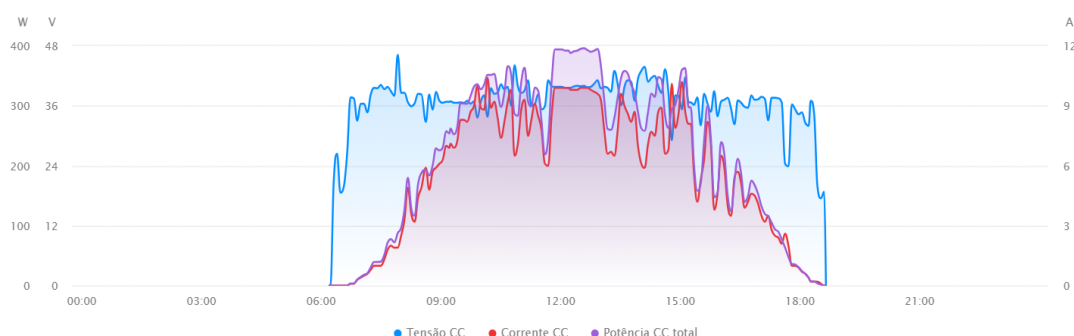


Figura 3.10 - Gráfico de tensão, corrente e potência do JAM72S30-540/MR.

Fonte: Autor.

É notável que o comportamento das tensões e correntes entre os módulos são semelhantes, isto porque, estão instalados sob mesmas condições.

3.5.5 Módulo JA bifacial (JAM72D30-540/MB)

Atualmente a fabricante está trabalhando com módulos bifaciais e os exportando para todos os países do mundo. Possuindo uma característica única, com relação aos demais, que é a condução de corrente e geração pela parte traseira do módulo, no qual, segundo o fabricante poderá aumentar em 10% a geração de energia. As informações do *datasheet* podem ser observadas no anexo C.

Foram coletadas as grandezas elétricas do módulo bifacial no dia 02 de outubro de 2023, a fim de que fosse realizado o comportamento de acordo com a intensidade da radiação solar e com o clima. O quadro 3.7 são os valores de tensão, corrente, potência e geração a cada trinta minutos.

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:14	0V	0A	0W	--	0kWh
06:44	28,90V	0,10A	2,89W	--	0kWh
07:14	33,80V	1A	33,80W	--	0kWh
07:45	39,30V	2,20A	86,46W	--	0kWh
08:15	37,30V	3,50A	130,55W	--	0kWh
08:47	38,80V	5,80A	225,04W	--	0,10kWh
09:14	38,30V	6,60A	252,78W	--	0,30kWh
09:44	38,30V	8,60A	329,38W	--	0,40kWh
10:15	38,50V	9,50A	363,85W	--	0,60kWh
10:45	37,10V	9,20A	363,85W	--	0,60kWh
11:16	41,30V	6,40A	264,32W	--	0,90kWh
11:46	40,90V	8,20A	335,38W	--	1kWh
12:15	40,30V	9,90A	398,97W	--	1,20kWh
12:45	40,50V	9,80A	396,90W	--	1,40kWh
13:15	43,90V	6A	263,40W	--	1,60kWh
13:46	42,40V	7,90A	334,96W	--	1,80kWh
14:16	39V	8,50A	331,50W	--	1,90kWh
14:47	41,70V	7,30A	304,41W	--	2,10kWh

15:15	42,80V	7,40A	316,72W	--	2,20kWh
15:45	35V	6,80A	238W	--	2,30kWh
16:16	39,50V	3,30A	130,35W	--	2,40kWh
16:46	39V	4,80A	187,20W	31,4°C	2,50kWh
17:17	39V	2,90A	113,10W	--	2,60kWh
17:47	37,30V	1,20A	44,76W	--	2,60kWh
18:16	29,80V	0,40A	11,92W	--	2,60kWh
18:39	0V	0A	0W	--	2,60kWh

Quadro 3.7 – Dados do módulo JAM72D30-540/MB.

Fonte: Autor.

Os dados do quadro 3.7 podem ser confirmados pelo gráfico gerado pelo monitoramento representado pela figura 3.11.

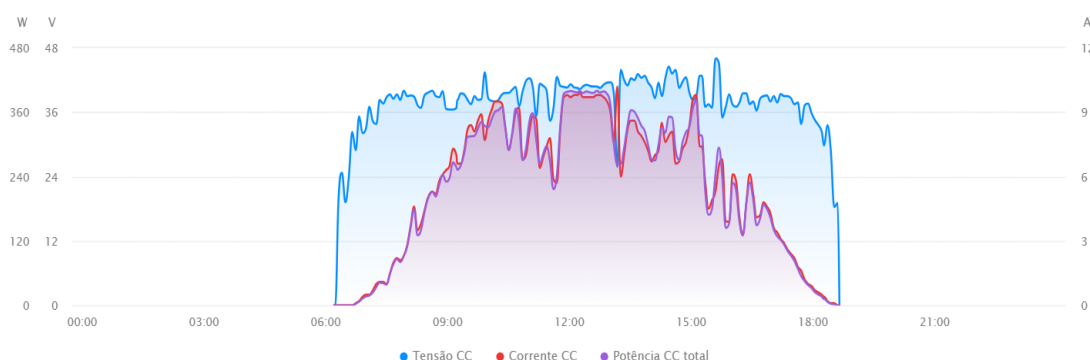


Figura 3.11 - Gráfico de tensão, corrente e potência do JAM72D30-540/MB

Fonte: Autor.

Calculando a tensão do módulo para a temperatura coletada:

$$V(\text{calculada}) = -(V(\text{módulo}) * 0,275\% * 11,4) + V(\text{módulo}) \quad \text{Equação 3.10}$$

Resolvendo:

$$V(\text{calculada}) = -(41,65V * 0,275\% * 6,4^{\circ}\text{C}) + 41,65V \quad \text{Equação 3.11}$$

$$V(\text{calculada}) = 40,91V. \quad \text{Equação 3.12}$$

Em virtude dos níveis dos valores de corrente (linha em vermelho), conclui-se que, o horário das onze horas até o meio-dia, foi de pleno sol, devido a tensão (linha em azul) estar linearmente regulada. Fora desse horário, possivelmente houve

nuvens, fazendo com que a tensão nominal oscilasse continuamente, e consequentemente, diminuindo a corrente diante da menor irradiação solar.

3.5.6 Comparação de tensão e corrente em conjunto

O monitoramento do inversor, além de obter os dados individuais, é possível analisar todas as entradas (*strings*) em tempo real simultaneamente, conforme indicado na figura 3.12.

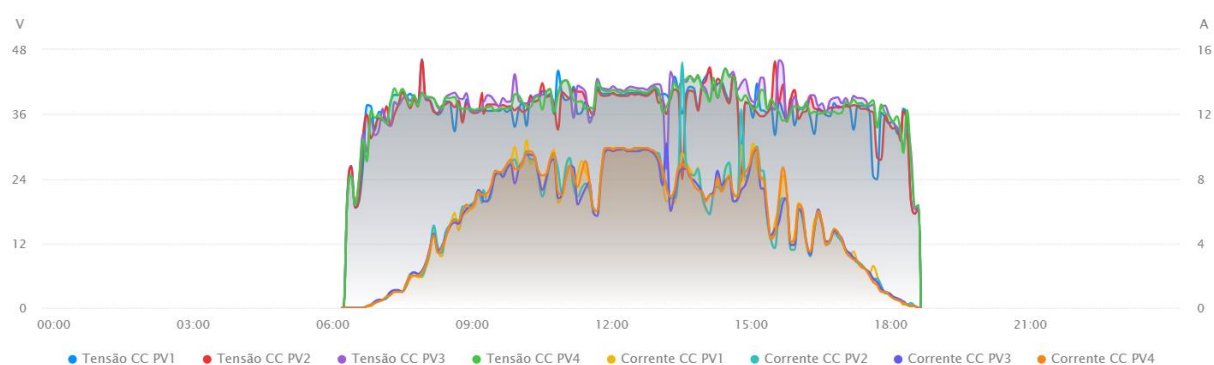


Figura 3.12 – Tensão e corrente de ambos os módulos simultaneamente.

Fonte: Autor.

O gráfico da figura 3.12 representa os parâmetros de tensão e corrente elétrica dos quatro módulos no dia 02 de outubro de 2023, em que, cada PV está sendo representado por um módulo apenas, conforme ilustrado no quadro 3.2.

Os gráficos de corrente dos quatro módulos são semelhantes, indicando que neste dia, houve nuvens, por isso a oscilação decorrente, mas sempre com as mesmas características, podendo concluir que ambos os módulos estão instalados de forma correta e sob mesmas condições climáticas, orientação e inclinação.

Já o gráfico de tensão, que representa a característica mais linear da figura, indica que houve várias oscilações neste dia, exatamente por conta das nuvens. Da análise do gráfico 3.12, verifica-se que houve muitos picos de tensão, principalmente depois do meio-dia até as quinze horas. Essa característica é resultado do comportamento característico dos semicondutores que compõem o módulo fotovoltaico, cuja curva de joelho é retratada em todo *datasheet*.

Assim, significa que, possivelmente quando houve sombreamento nos

módulos, a tensão reduziu, fazendo com que o inversor entendesse e mandasse informação para o monitoramento com a corrente alta, pois os dados no momento anterior eram diferentes. E é exatamente por isso que neste horário analisado, o gráfico apresentou oscilações características (próprias). É possível observar também, o horário das 10 horas até as 12 horas, onde aparentemente, não houve nenhum sombreamento, ficando constante a tensão para os quatro módulos.

Esse fenômeno ocorre porque a MPPT, sempre busca extrair a máxima potência fornecida pelo módulo a cada cinco minutos de informação. Contudo, caso aconteça alguma outra anomalia dentro desse intervalo de cinco minutos, o monitoramento não irá indicar, devido sua atualização de dados para a nuvem.

Foram realizadas tabelas para cada módulo e para cada dia analisado, mas com objetivo de não estender o trabalho, os dados estão anexos no Apêndice C.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao longo deste capítulo, serão apresentadas as análises e resultados obtidos a partir dos testes realizados em campo e indicados pelo monitoramento com uso de aplicativo.

4.1 ANÁLISE DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Com base no projeto proposto nos capítulos anteriores, foi registrada a geração mensal, conforme anteriormente referenciado no corpo desse trabalho, ao qual, considerou-se a data do dia 01 de agosto a 31 de agosto de 2023 e de quatro módulos fotovoltaicos. A conexão dos módulos, distribuição das entradas (*strings*) e conexão no circuito dos micros inversores podem ser observadas no apêndice B. Para obtenção de geração de energia elétrica dos módulos, utilizou-se um microinversor para cada módulo, por não ser possível obter essa informação de geração individual com apenas um microinversor (figura 4.1).



Figura 4.1 – Conexão dos módulos nos micros inversores.

Fonte: Autor.

A geração dos módulos fotovoltaicos da marca BYD, JA e CANADIAN, pode ser visualizada na figura 4.2.

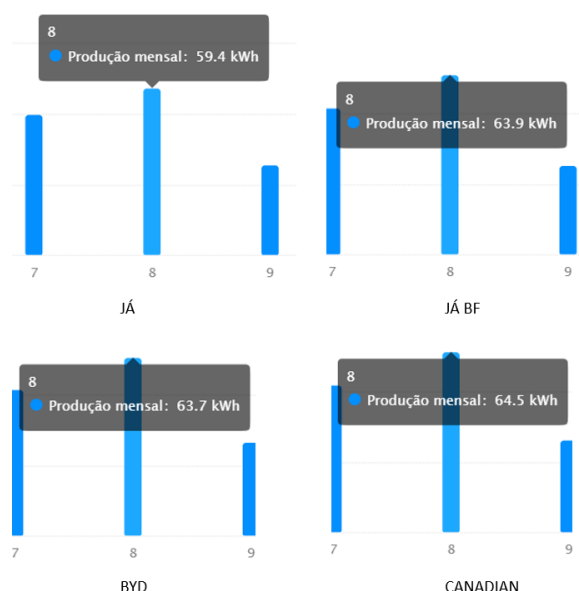


Figura 4.2 – Geração dos módulos referente ao mês de agosto de 2023.

Fonte: SolarMan SMART®.

Verifica-se que o módulo que mais gerou, dentre os quatro testados no mês de agosto de 2023, foi o da Canadian (CS6W-540MS), tendo uma performance de geração de 5,1kWh superior à do módulo que se constatou menor geração no mesmo período. Vale ressaltar que, ambos os módulos são de 540W, monocristalinos e que foram instalados sob mesmas condições atmosféricas, inclinação e orientação.

No quadro 4.1, é possível extrair a geração por metro quadrado de cada módulo fotovoltaico, quando utilizado a área de contato de acordo com cada fabricante.

MÓDULO	ÁREA	GERAÇÃO (m²)
BYD	2,556048m²	24,92kWh/m²
JA BIFACIAL	2,583252m²	24,73kWh/m²
JA	2,584386m²	22,98kWh/m²
CANADIAN	2,563974m²	25,15kWh/m²

Quadro 4.1 – Geração por metro quadrado.

Fonte: Autor

Apesar da pequena diferença de valores, quando convertido a geração por metro quadrado do módulo, ainda que a área que recebe irradiação solar seja menor, é visível que somente o módulo da Canadian ultrapassa os 25kWh, tornando-o assim, o melhor módulo para este modelo de instalação fotovoltaica.

Com essa análise de geração, o departamento de engenharia de uma empresa detém de melhores parâmetros para tomada de decisões relativas a projetos e melhores soluções para seus pretensos investidores, e por meio desse diferencial, expertise para cada modalidade de instalação.

Para sistemas de menor porte, principalmente residenciais, a diferença de 5,1kWh, não reflete num impacto significativo no bolso do investidor em energia solar fotovoltaica. Porém, para um cliente que pretende investir em usinas, que são de maior porte, a geração de 5,1kWh a mais por placa, certamente, acarretará num impacto considerável no retorno de investimento.

4.2 CUSTOS POR MÓDULO E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Após a análise de geração, apurou-se o custo de cada módulo fotovoltaico de acordo com o seu fabricante, bem como, o valor da tarifa de energia referente ao mês de agosto de 2023. O quadro 4.2 é uma comparação de geração e valor monetário realizado dentre os módulos testados.

	QUANTIDADE	GERAÇÃO 08/23	VALOR TARIFA	VALOR MONETÁRIO	VALOR PLACA
CANADIAN	1	64,5kWh	R\$0,80	R\$51,60	R\$780,00
JÁ	1	59,4kWh	R\$0,80	R\$47,52	R\$750,00
BYD	1	63,7kWh	R\$0,80	R\$50,96	R\$765,00
JÁ BF	1	63,9kWh	R\$0,80	R\$51,12	R\$800,00

Quadro 4.2 – Dados individuais de geração por módulo.

Fonte: Autor.

É possível constatar uma diferença considerável em valor monetário, referente ao resultado de cada módulo, tendo como base a sua geração de energia elétrica e a tarifa aplicada ajustada para o mês de agosto de 2023. Considerando-se essa relação de geração, é possível determinar qual módulo fotovoltaico apresenta

qualidade melhor e mais eficiência, para esse tipo de instalação em solo.

4.3 INVESTIMENTO EM USINA DE 3MW

Neste caso específico, caso haja a possibilidade de se construir uma usina de porte grande, adotando o exemplo de 3MW de potência de inversor, em análise aos módulos, que mais gerou em detrimento ao que menos gerou energia elétrica, é possível observar uma diferença expressiva no retorno mensal média, conforme ilustra o quadro 4.3.

USINA DE 3MW	
QUANTIDADE INVERSORES	40
QUANTIDADE DE PLACA POR INVERSOR	276
QUANTIDADE TOTAL DE PLACA	11040
GERAÇÃO MENSAL TOTAL CANADIAN	712.080 kWh
GERAÇÃO MENSAL TOTAL JA	655.776 kWh
ECONOMIA GERADA CANADIAN	R\$569.664,00
ECONOMIA GERADA JA	R\$524.620,80
TOTAL INVESTIMENTO EM PLACAS CANADIAN	R\$8.611.200,00
TOTAL INVESTIMENTO EM PLACAS JA	R\$8.280.000,00
RETORNO INVESTIMENTO CANADIAN	15 MESES E 3 DIAS
RETORNO INVESTIMENTO JÁ	15 MESES E 23 DIAS

Quadro 4.3 – Simulação de investimento e *payback*.

Fonte: Autor.

Os valores de investimento ora indicados foram baseados nos custos, e não no valor de venda, para não acrescentar porcentagens sobre marcas mais renomadas. Está claro que o investimento na marca Canadian é mais alto em comparação com o investimento na marca JA. Apesar disso, num investimento de grande porte, não se deve considerar apenas o custo inicial, mas sim na análise de desempenho entre elas. Em que pese o investimento na marca Canadian ser mais elevado, o *payback* dela ocorre primeiro, se comparado com o da marca JA, sendo esse um ponto positivo para investir nesta marca.

Outra análise que deve ser previamente realizada é a economia quando as

duas marcas se quitam no final dos 15 meses e 23 dias, que neste caso, a economia gerada pela Canadian no mês de agosto de 2023 é R\$ 45.043,20 a mais em comparação com a JA, ou seja, o lucro mensal por investir na Canadian é muito mais significativo. Mas vale lembrar que, esses valores em reais, não foram descontados os impostos da concessionária, portanto, apenas o valor bruto gerado do kWh.

O estudo realizado entre diversos fabricantes, não quer dizer que um produto seja melhor que outro. É preciso sim, levar em conta que tais resultados também são decorrentes de agentes externos como intempéries climáticas (excesso de chuva, temperatura elevada, dentre outros), assim como ações mecânicas indesejáveis, que passam a agir nas placas desde o momento em que esta foi confeccionada, até o momento de sua instalação final, como por exemplo, exposição à excesso de peso (pressão) no transporte, mal condicionamento dos packs, condições adversas de transporte, choques mecânicos, e outros, os quais podem causar micro fissuras ou trincas no módulo, que por ínfimo que seja, afetará o desempenho do mesmo.

Outra questão a ser considerada, é que todos os módulos possuem uma tolerância positiva de 5W, isto quer dizer que, independentemente do módulo ser de 540W, a classe do módulo em sua fabricação pode obter valores de 541W, 542W, 543W e 544W, ou seja, a análise pode ser feita entre potências diferentes, podendo não ser garantido.

5 CONCLUSÃO

Após a análise minuciosa dos equipamentos mencionados, levantamento de dados para um estudo mais preciso e aprofundado, assim como, os gráficos, pode-se concluir que, o módulo bifacial em específico, para a proposta de usina apresentada no decorrer do trabalho e considerando as condições de medição não obteve sucesso na geração de energia elétrica conforme o esperado, possivelmente em razão do em que foi realizado o presente estudo, ao qual era composto por pedra brita, pedra esta que possui baixo índice de reflexo de irradiação solar. Em contrapartida, restou comprovado a inviabilidade num investimento de módulo bifaciais, na condição em que o solo não possui características favoráveis à geração de energia na parte traseira dos respectivos módulos, podendo assim, a partir desse estudo, indicar uma melhor possibilidade de investimento para o cliente, utilizando-se de outros modelos de módulos fotovoltaicos.

Por conseguinte, nota-se ainda que, independentemente do modelo e fabricante dos módulos, a geração de energia elétrica, permaneceu próxima entre elas, respeitando as tensões e correntes de acordo com os *datasheets* de cada uma. Entretanto, o módulo da Canadian® ainda se destacou com relação aos demais, gerando mais energia elétrica no período testado e, com essa pequena diferença positiva na geração, obtém-se automaticamente valores mais significativos, mensalmente. Salienta-se ainda que a depender do porte da usina fotovoltaica, é capaz de gerar um superávit de produção de energia elétrica e consequentemente, uma economia expressiva quando comparado aos outros módulos testados, a partir do momento em que seu próprio rendimento quitar o investimento realizado.

Importante ressaltar que, os valores de investimentos para uma usina de 3MW como posto em questão, não está incluso os valores relativos aos inversores, cabeamento necessário, estrutura das placas e demais equipamentos necessários, como, religador automático, transformadores de potencial, transformadores de corrente e transformador da potência de no mínimo 3MVA. Trata-se apenas do investimento em módulos, pois todos os equipamentos mencionados são necessários qualquer que seja o modelo e a marca do módulo.

Além da economia gerada pelos módulos, o investimento em usinas fotovoltaicas é de suma importância, haja vista que é um mecanismo e fonte de energia limpa e sustentável, apresentando, portanto, grande relevância não só a

economia, mas também ao meio ambiente. Desta forma, a energia elétrica fotovoltaica com o crescimento exponencial visto, conforme dados ora apresentados, vem tomando lugar de outras fontes não renováveis e poluidoras ao meio ambiente, deixando assim, de alimentar a problemática ao qual, toda população enfrenta atualmente, consequências esta grave presente, e também futura.

6 REFERENCIAS

ABSOLAR. **Energia solar supera eólica e vira 2ª maior fonte do país; veja desafios para 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-supera-eolica-e-vira-2a-maior-fonte-do-pais-veja-desafios-para-2023/>. Acesso em 07 Jul. de 2023.

ALBA ENERGIA SOLAR. **O QUE É UM SISTEMA SOLAR HÍBRIDO E COMO FUNCIONA?** 2022. Disponível em: <https://albaenergia.com.br/o-que-e-um-sistema-solar-hibrido-e-como-funciona/#:~:text=Vantagens%20do%20sistema%20h%C3%ADbrido%20Possibilita%20o%20armazenamento%20de,apag%C3%A3o%20na%20rede%3B%20Permite%20independ%C3%A2ncia%20e%20autonomia%20energ%C3%A9tica>. Acesso em 22 de Mai. de 2023.

ALPHA SOLAR. **LEI 14.300**: quais são as principais mudanças do marco legal da gd. **QUAIS SÃO AS PRINCIPAIS MUDANÇAS DO MARCO LEGAL DA GD**. 2022. Disponível em: <https://alphasolar.com.br/lei-14-300/>. Acesso em: 30 maio 2023.

ANEEL. **ANEEL regulamenta marco legal da Micro e Minigeração Distribuída**: expansão de gd. Expansão de GD. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-regulamenta-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em 15 de Mai. de 2023.

ANEEL. **Base de tarifas**. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/basestarifas>. Acesso em 6 Mai. de 2023.

ANEEL. **Bandeiras tarifárias**. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/bandeiras-tarifarias>. Acesso em 6 de Mai de 2023.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída**: regras. Regras. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em 31 de Mai. de

2023.

BLASQUES, Luis Carlos Macedo; VALE, Silvio Bispo do. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLARE V CONFERÊNCIA LATINO, 4., 2012, Belém. **ANÁLISE PRELIMINAR DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA DE 12,6kWp, INSTALADO EM UM PRÉDIO COMERCIAL NA CIDADE DE BELÉM, ESTADO DO PARÁ.** São Paulo: ISES, 2010. p. 1-8. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/2074/2057>. Acesso em: 24 de Mai. de 2023.

BRITO, Sérgio de Salvo. **Centro de Pesquisas de Energia Elétrica: manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cresesb, 2004. 207 p. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1woyYwK5nhroyScaAa6sYnT89opl8uZ_V/view. Acesso em 31 de Mai. de 2023.

CANAL SOLAR. **Lei 14.300:** principais mudanças do marco legal da gd. principais mudanças do Marco Legal da GD. 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/lei-14-300-principais-mudancas-do-marco-legal-da-gd/>. Acesso em 30 de Mai. de 2023.

CANAL SOLAR. **O que é geração distribuída de energia elétrica?** 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida-de-energia-eletrica/>. Acesso em 19 de Mai. de 2023.

CARSALADE, Fernando (org.). **O que é a Resolução Normativa 482 da ANEEL?: o que é resolução 482 da ANEEL?. O que é Resolução 482 da ANEEL?.** 2022. MAYA ENERGY. Disponível em: <https://mayaenergy.com.br/resolucao-482-aneel/>. Acesso em 29 de Mai. de 2023.

CARNEIRO, Joaquim. **ELECTROMAGNETISMO B MÓDULOS FOTOVOLTAICOS:** características e associações. 2010. 9 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Física, Universidade do Minho, Azurém, 2010. Acesso em 04 de Abr. de 2023.

CASARO, Marcio Mendes; MARTINS, Denizar Cruz. **MODELO DE ARRANJO FOTOVOLTAICO DESTINADO A ANÁLISES EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA VIA SIMULAÇÃO**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. Acesso em 05 de Abr. de 2023.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS: uma visão cemig**. Belo Horizonte, 2012. 362 p. Acesso em 27 de Mai. de 2023.

CHEAUZU, Huang. **O que muda com a Lei nº 14.300?**: tarifação da rede. TARIFAÇÃO DA REDE. 2023. Disponível em: <https://solarmarket.zendesk.com/hc/pt-br/articles/12010854129947-O-que-muda-com-a-Lei-n-14-300->. Acesso em 30 Mai. de 2023.

CHRISTMANN, Rodrigo Augusto. **ANÁLISE DE INVESTIMENTOS**: um sistema de apoio à decisão. 2009. 87 f. Monografia (Especialização) - Curso de Administração, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2009. Acesso em 20 de Abr. de 2023.

DANTAS, Stefano Giacomazzi. **OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL**. Rio de Janeiro: Livraria Ipea, 2020. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9680/1/TD_2541.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9680/1/TD_2541.pdf). Acesso em: 25 jun. 2023.

ENGLAND. Dr. Max Roser. Our World In Data (org.). **Population, including UN projections, 1950 to 2100**: future projections are based on the un's medium-fertility scenario. Future projections are based on the UN's medium-fertility scenario. 2021. Disponível em: <https://ourworldindata.org/future-population-growth>. Acesso em 07 de Mai. de 2023.

EPE. **Resenha mensal: o consumo nacional de energia elétrica foi de 42.837 GWh em janeiro de 2023, crescimento de 0,6% em comparação com mesmo mês de 2022**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/resenha-mensal-o-consumo-nacional-de-energia-eletrica-foi-de-42-837-gwh-em-janeiro-de->

2023-crescimento-de-0-6-em-comparacao-com-mesmo-mes-de-2022. Acesso em 06 de Mai. de 2023.

FEITOSA, Sandoval. **ANEEL regulamenta marco legal da Micro e Minigeração Distribuída**: A decisão ocorreu após intenso debate com interessados no tema. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-regulamenta-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em 17 de Mai. de 2023.

JUCÁ, Sandro; CARVALHO, Paulo. **Métodos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**: aplicações em dessalinização. Rio de Janeiro: Monique Dias Rangel Dutra, 2013. 84 p. Disponível em: <https://pdfslide.net/documents/metodos-de-dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos-aplicacoes-em-dessalinizacao.html?page=34>. Acesso em 11 de Abr. de 2023.

LUQUE, Antonio; HEGEDUS, Steven. **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**. 2. ed. Delaware: John Wiley & Sons, 2002. 1167 p. Acesso em 22 de Mai. de 2023.

MME, EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Brasília, 2021. 453 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf. Acesso em: 01 jun. 2023.

MORAIS, Fabrício Higo Monturil de; SILVA, Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da; MORAES, Albemerc Moura de; BARBOSA, Fábio Rocha. **Energia Solar Fotovoltaica**: fundamentos para análise de viabilidade técnico-econômica. Piauí: Eduespi, 2021. 164 p. Acesso em 24 de Mar. de 2023.

NERIS, Alessandra. **Como fazer o cálculo do sistema fotovoltaico com eficiência?** cálculo dos painéis solares. Cálculo dos painéis solares. 2021. ALDO. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/blog/como-fazer-o-calculo-do-sistema-fotovoltaico-com-eficiencia/>. Acesso em 24 de Mar. de 2023.

NERIS, Alessandra. **Como funciona o monitoramento de energia solar?**: o que é o monitoramento de energia solar?. O que é o monitoramento de energia solar?. 2020. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/blog/como-funciona-o-monitoramento-de-energia-solar/>. Acesso em 25 de Mar. de 2023.

PARMAIS. **CRISE hídrica no Brasil**: quais os impactos na economia? 2021. Disponível em: <https://www.parmais.com.br/blog/crise-hidrica-no-brasil/#:~:text=A%20crise%20h%C3%ADdrica%20no%20Brasil%20reflete%20em%20diversos%20setores%20da,fam%C3%ADlias%20e%20prejudicar%20o%20com%C3%A9rcio>. Acesso em 15 de Mai. de 2023.

PORTO, Aroldo. **LEI 14.300 DE ENERGIA SOLAR**: entenda as principais mudanças. ENTENDA AS PRINCIPAIS MUDANÇAS. 2022. Disponível em: <https://soluttion.eco.br/noticia/lei-14300-energia-solar/>. Acesso em 22 de Mai. de 2023.

PORTAL SOLAR. **Energia solar no mundo**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo>. Acesso em 6 de Mai. de 2023.

PORTAL SOLAR. **Monitoramento energia solar**: tudo o que você precisa saber. tudo o que você precisa saber. 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/monitoramento-energia-solar>. Acesso em 31 Mai. de 2023.

PORTAL SOLAR. **Inversor solar: o que é, como funciona e como escolher**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/inversor-solar-o-que-e>. Acesso em 4 de Abr. de 2023.

PORTAL SOLAR. **Sistema solar On Grid (Conectado à Rede)**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-solar-conectado-a-rede-on-grid>. Acesso em: 4 de Abril de 2023.

PORTAL SOLAR. **Sistema de Energia Solar Off Grid**. 2021. Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>. Acesso em 04 Abr. de 2023.

PORTAL SOLAR. **Curso de energia solar**. 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/curso-de-energia-solar>. Acesso em 02 de Jun. de 2023.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Cresesb. Rio de Janeiro, 2014. Acesso em 04 de Mar. de 2023.

PINTO FILHO, Tito Livio de Miranda. **CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**: medidor eletrônico de energia elétrica bidirecional não invasivo. 2019. 57 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Acesso em 26 de Mai de 2023.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio Às Micro e Pequenas Empresas. **Viabilidade Financeira**: Um meio de prever o investimento necessário e possível retorno é a viabilidade financeira. Saiba como calcular. 2019. Décio Lima. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pr/artigos/viabilidade-financeira,4e8ccd18a819d610VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em 20 de Abr. de 2023.

SOLAR INOVE. **O que é o Fio B**. 2022. Disponível em: <https://blog.solarinove.com.br/como-calcular-a-tusd-fio-b/>. Acesso em 30 de Mai. de 2023.

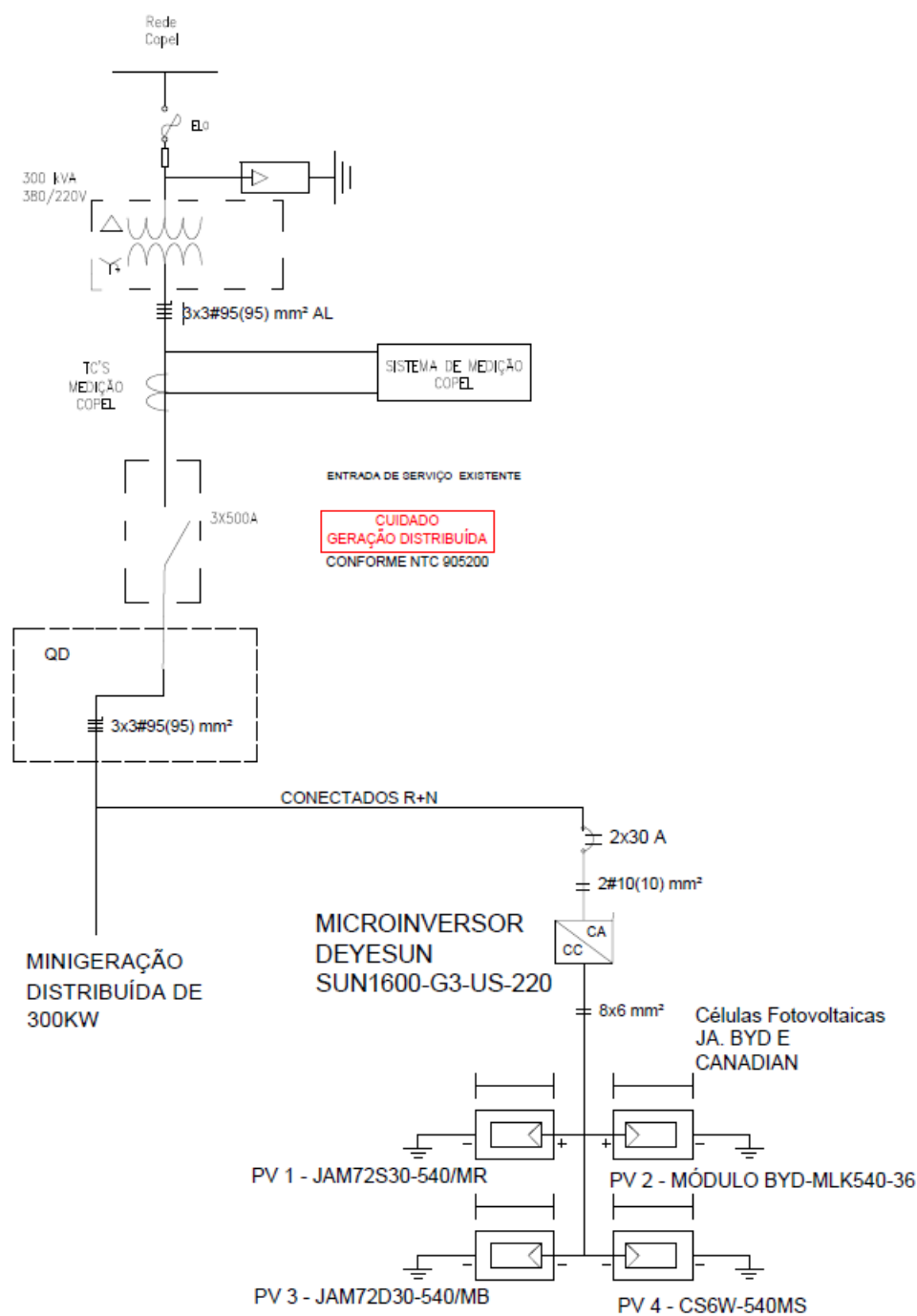
SOUZA, Muriele Bester de; TIEPOLO, Gerson Máximo; URBANETZ JUNIOR, Jair; FREITAS, Diego Vitoriano; YANG, Renata Lautert. **MODELOS PARA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO DIFUSA A PARTIR DA RADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL PARA A CIDADE DE CURITIBA/PR**: recursos solares e meteorologia da radiação solar. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 2020. Fortaleza. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de

Eletrotécnica, 2020. p. 1-11.

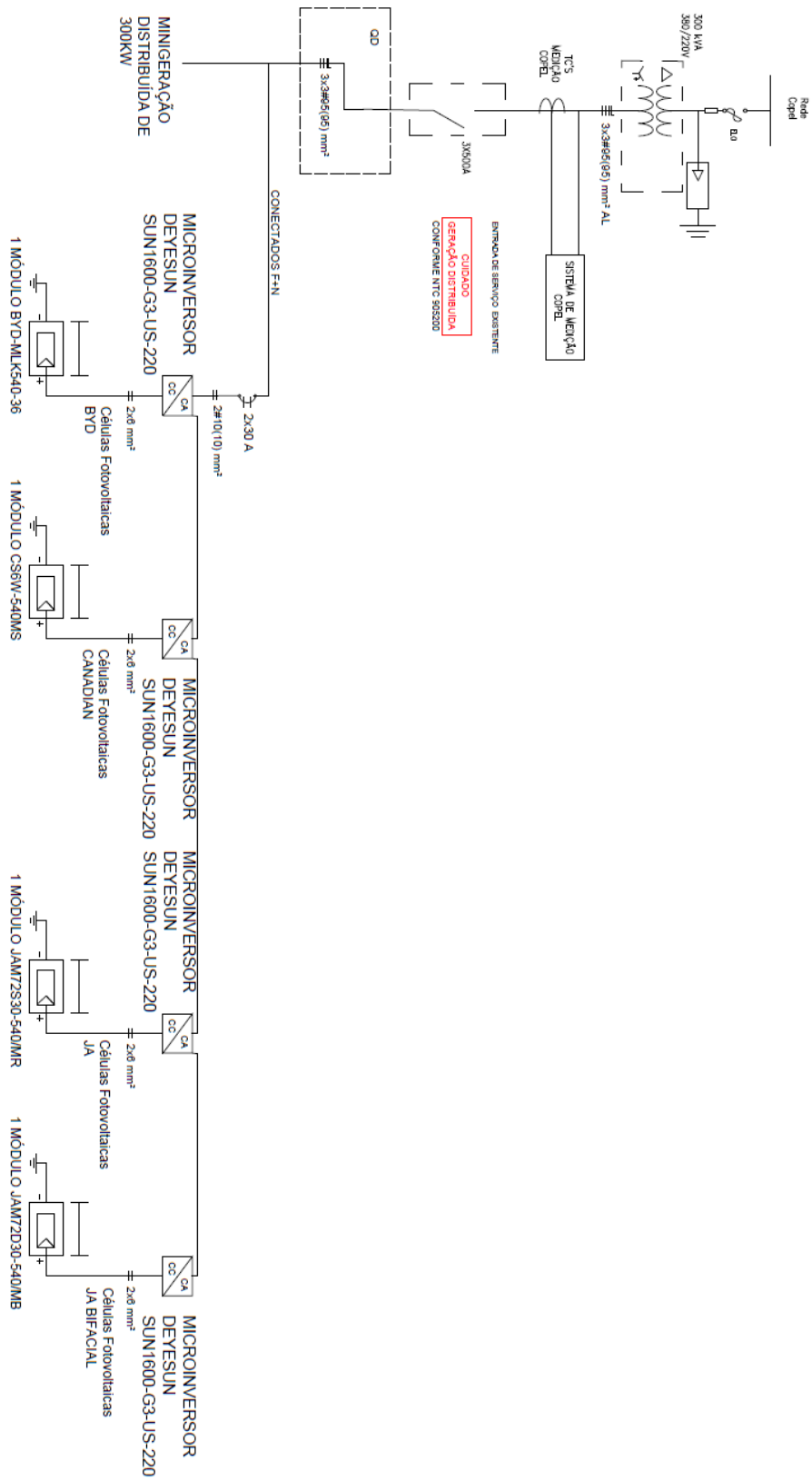
TIBA, Chigueru *et al.* **Atlas Solarimétrico do Brasil**: banco de dados solarimétricos. Recife: Universitária da Ufpe, 2000. 111 p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf. Acesso em 29 de Mai. de 2023.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. Editora Érica, São Paulo, 2012. Acesso em 03 de Mar. de 2023.

APÊNDICE A – DIAGRAMA UNIFILAR ANÁLISE DE TENSÃO/CORRENTE



APÊNDICE B – DIAGRAMA UNIFILAR ANÁLISE DE GERAÇÃO



APÊNDICE C – DADOS DOS MÓDULOS

1º DIA – PV1

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:22	0V	0A	0W	--	0kWh
07:20	34,30V	0,60A	20,58W	--	0kWh
08:22	38,50V	2,50A	92,40W	--	0kWh
09:22	37,30V	2,80A	104,44W	--	0,10kWh
10:23	38,60V	2,50A	96,50W	--	0,20kWh
11:24	38,10V	5A	190,50W	--	0,40kWh
12:23	36,70V	8,20A	300,94W	--	0,60kWh
13:24	36,60V	5,50A	201,30W	--	0,90kWh
14:25	36,60V	4,70A	172,02W	--	1,10kWh
15:24	35,90V	4,90A	175,91W	--	1,30kWh
16:25	37,90V	5,20A	197,08W	--	1,50kWh
17:25	37,10V	2,50A	92,75W	--	1,70kWh
18:25	23V	0,10A	2,30W	--	1,70kWh
18:37	0V	0A	0W	--	1,70kWh

3º DIA – PV 1

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:08	0V	0A	0W	--	0kWh
07:08	40,10V	0,90A	36,09W	--	0kWh
08:09	37,90V	2,10A	79,59W	--	0kWh
09:08	34,80V	6,50A	226,20W	--	0,20kWh
10:10	33,70V	9,60A	323,52W	--	0,50kWh
11:11	36,30V	9A	326,70W	--	0,80kWh
12:11	---	---	---	--	---
13:13	38,50V	9,30A	358,05W	--	1,10kWh
14:14	35,60V	5,90A	210,04W	--	1,40kWh
15:15	34,30V	3,60A	123,48W	--	1,60kWh
16:12	36,50V	7,50A	273,75W	--	1,80kWh

17:13	37V	3,10A	114,70W	--	2,00kWh
18:14	31,20V	0,50A	15,60W	--	2,00kWh
18:37	0V	0A	0W	--	2,00kWh

4º DIA – PV 1

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
07:55	0V	0A	0W	--	0kWh
08:55	30,70V	0,20A	6,14W	--	0kWh
09:56	37,60V	3,2A	120,32W	--	0kWh
10:57	38V	8,30A	315,40W	--	0,20kWh
11:56	39,60V	9,80A	388,08W	--	0,60kWh
12:51	37,30V	6,30A	234,99W	--	0,80kWh
13:52	36,40V	7,60A	276,64W	--	1,10kWh
14:51	39,90V	4,20A	167,58W	--	1,30kWh
15:52	35,80V	5,90A	211,22W	--	1,50kWh
16:53	37V	3,40A	125,80W	--	1,70kWh
17:52	35,10V	0,60A	21,06W	--	1,80kWh
18:32	0V	0A	0W	--	1,80kWh
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--

5º DIA – PV 1

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:26	0V	0A	0W	--	0kWh
07:26	33,10V	0,50A	16,55W	--	0kWh
08:27	33,70V	1,20A	40,44W	--	0kWh
09:26	32,40V	1,30A	42,12W	--	0kWh
10:27	33,70V	1A	33,70W	--	0,10kWh
11:28	32,60V	1,10A	35,86W	--	0,10kWh
12:28	36,80V	1,40A	51,52W	--	0,20kWh
13:28	37,70V	4,70A	177,19W	--	0,40kWh
14:29	33,50V	1,70A	56,95W	--	0,50kWh

15:24	37V	1,10A	40,70W	--	0,50kWh
16:25	36,60V	1,90A	69,54W	--	0,60kWh
17:26	32,50V	0,60A	19,50W	--	0,60kWh
18:26	24V	0A	0W	--	0,60kWh
18:28	0V	0A	0W	--	0,60kWh

6º DIA – PV 1

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:05	0V	0A	0W	--	0kWh
07:05	40,10V	0,70A	28,07W	--	0kWh
08:06	38,80V	3,50A	135,80W	--	0kWh
09:05	34,60V	6,50A	224,90W	--	0,20kWh
10:06	34,30V	9,10A	312,13W	--	0,50kWh
11:07	38,50V	9,80A	377,30W	--	0,80kWh
12:06	35,50V	9,50A	337,25W	--	1,20kWh
13:07	40,20V	8,80A	353,76W	--	1,50kWh
14:07	37,60V	9,40A	353,44W	--	1,80kWh
15:07	36,80V	7,70A	283,36W	--	2,10kWh
16:07	35,80V	3,20A	114,56W	--	2,30kWh
17:08	35,10V	2,90A	101,79W	--	2,40kWh
18:07	29,80V	0,60A	17,88W	--	2,50kWh
18:39	0V	0A	0W	--	2,50kWh

7º DIA – PV 1

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:08	0V	0A	0W	--	0kWh
07:09	33,60V	0,80A	26,88W	--	0kWh
08:04	35,30V	2,30A	81,19W	--	0kWh
09:06	36,40V	2,30A	83,72W	--	0,10kWh
10:04	36,10V	8,20A	296,02W	--	0,30kWh
11:05	38,50V	9,80A	377,30W	--	0,60kWh
12:06	37,50V	5,60A	210W	--	1kWh

13:05	41V	7,20A	295,20W	--	1,20kWh
14:06	39,40V	7,60A	299,44W	--	1,40kWh
15:07	37,50V	8,60A	322,50W	--	1,70kWh
16:06	23,20V	7,90A	183,28W	--	1,90kWh
17:06	37,10V	2,90A	107,59W	--	2kWh
18:03	34,50V	0,90A	31,05W	--	2,10kWh
18:16	0V	0A	0W	--	2,10kWh

1º DIA – PV 2

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:22	0V	0A	0W	--	0kWh
07:20	33,50V	0,60A	20,10W	--	0kWh
08:22	38,70V	2,60A	100,62W	--	0kWh
09:22	37,10V	2,90A	107,59W	--	0,10kWh
10:23	35,20V	2,80A	98,56W	--	0,20kWh
11:24	37,80V	5,10A	192,78W	--	0,40kWh
12:23	36,20V	5,90A	213,58W	--	0,60kWh
13:24	37V	6,40A	236,80W	--	0,90kWh
14:25	36,70V	4,90A	179,83W	--	1,10kWh
15:24	35,80V	4,90A	175,42W	--	1,30kWh
16:25	28,10V	7,70A	216,37W	--	1,50kWh
17:25	37V	2,50A	92,50W	--	1,70kWh
18:25	22,90V	0,20A	4,58W	--	1,70kWh
18:37	0V	0A	0W	--	1,70kWh

3º DIA – PV 2

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:08	0V	0A	0W	--	0kWh
07:08	35,50V	1A	35,50W	--	0kWh
08:09	37,70V	2,50A	94,25W	--	0kWh
09:08	36,90V	6,70A	247,23W	--	0,20kWh
10:10	36,80V	9,30A	342,24W	--	0,50kWh

11:11	36,50V	8,60A	313,90W	--	0,90kWh
12:11	---	---	---	--	---
13:13	36,60V	9,90A	362,34W	--	1,20kWh
14:14	35,3V	5,80A	204,74W	--	1,40kWh
15:15	34,60V	3,50A	121,10W	--	1,70kWh
16:12	35,40V	7,70A	272,58W	--	1,90kWh
17:13	36,80V	3,20A	117,76W	--	2,00kWh
18:14	31,20V	0,50A	15,60W	--	2,10kWh
18:37	0V	0A	0W	--	2,10kWh

4º DIA – PV 2

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
07:55	0V	0A	0W	--	0kWh
08:55	30,10V	0,20A	6,02W	--	0kWh
09:56	37,20V	3,30A	122,76W	--	0kWh
10:57	38,20V	7,70A	294,14W	--	0,20kWh
11:56	39,10V	9,70A	379,27W	--	0,60kWh
12:51	36V	6,40A	230,40W	--	0,80kWh
13:52	36,50V	7,30A	266,45W	--	1,10kWh
14:51	37,10V	4,80A	178,08W	--	1,30kWh
15:52	37,50V	5,80A	217,50W	--	1,50kWh
16:53	36,80V	3,30A	121,44W	--	1,70kWh
17:52	33,10V	0,70A	23,17W	--	1,80kWh
18:32	0V	0A	0W	--	1,80kWh
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--

5º DIA – PV 2

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:26	0V	0A	0W	--	0kWh
07:26	33,40V	0,50A	16,70W	--	0kWh
08:27	34,30V	1,20A	41,16W	--	0kWh

09:26	31,30V	1,40A	43,82W	--	0kWh
10:27	34,40V	1,10A	37,84W	--	0,10kWh
11:28	33,10V	1,20A	39,72W	--	0,10kWh
12:28	36,60V	1,50A	54,90W	--	0,20kWh
13:28	37V	4,90A	181,30W	--	0,40kWh
14:29	36,30V	1,60A	58,08W	--	0,50kWh
15:24	40,10V	1A	40,10W	--	0,50kWh
16:25	36,60V	2A	72,60W	--	0,60kWh
17:26	31,10V	0,70A	21,77W	--	0,60kWh
18:26	24V	0A	0W	--	0,60kWh
18:28	0V	0A	0W	--	0,60kWh

6º DIA – PV 2

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:05	0V	0A	0W	--	0kWh
07:05	35,40V	0,90A	31,86W	--	0kWh
08:06	38,50V	3,70A	142,45W	--	0kWh
09:05	33,70V	7,20A	242,64W	--	0,20kWh
10:06	33,10V	9,40A	311,14W	--	0,50kWh
11:07	38,50V	9,80A	375,34W	--	0,90kWh
12:06	35,80V	9,20A	329,36W	--	1,20kWh
13:07	43,40V	8,10A	351,54W	--	1,50kWh
14:07	37,60V	9,40A	353,44W	--	1,80kWh
15:07	37,60V	7,20A	270,72W	--	2,10kWh
16:07	36,10V	3,10A	111,91W	--	2,30kWh
17:08	36V	2,90A	104,40W	--	2,40kWh
18:07	31V	0,50A	15,50W	--	2,50kWh
18:39	0V	0A	0W	--	2,50kWh

7º DIA – PV 2

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:08	0V	0A	0W	--	0kWh

07:09	34,70V	0,80A	27,76W	--	0kWh
08:04	36V	2,30A	82,80W	--	0kWh
09:06	35,80V	2,40A	85,92W	--	0,10kWh
10:04	36,50V	8,30A	302,95W	--	0,30kWh
11:05	38,50V	9,90A	381,15W	--	0,60kWh
12:06	40,30V	5,10A	205,53W	--	1kWh
13:05	41V	7,30A	299,30W	--	1,20kWh
14:06	39,30V	7,50A	294,75W	--	1,40kWh
15:07	28V	11,50A	322W	--	1,70kWh
16:06	23,50V	7,30A	171,55W	--	1,90kWh
17:06	37,30V	3A	111,90W	--	2kWh
18:03	34,50V	0,90A	31,05W	--	2,10kWh
18:16	0V	0A	0W	--	2,10kWh

1º DIA – PV 3

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:22	0V	0A	0W	--	0kWh
07:20	35,80V	0,60A	21,48W	--	0kWh
08:22	38,80V	2,50A	97W	--	0kWh
09:22	37,90V	2,80A	106,12W	--	0,10kWh
10:23	36V	2,80A	100,80W	--	0,30kWh
11:24	38V	5,20A	197,60W	--	0,40kWh
12:23	40,30V	7,90A	318,37W	--	0,70kWh
13:24	37,10V	6,80A	252,28W	--	0,90kWh
14:25	37,50V	4,90A	183,75W	--	1,20kWh
15:24	36,30V	5A	181,50W	--	1,40kWh
16:25	38V	6,20A	235,60W	--	1,60kWh
17:25	38,30V	2,50A	95,75W	--	1,80kWh
18:25	28,60V	0,10A	2,86W	--	1,80kWh
18:37	0V	0A	0W	--	1,80kWh

3º DIA – PV 3

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:08	0V	0A	0W	--	0kWh
07:08	40,40V	0,90A	36,36W	--	0kWh
08:09	38,40V	2,50A	96W	--	0kWh
09:08	37,80V	6,70A	253,26W	--	0,20kWh
10:10	38V	9,20A	349,60W	--	0,50kWh
11:11	37,60V	9A	338,40W	--	0,80kWh
12:11	---	---	---	--	---
13:13	35,20V	10,60A	373,12W	--	1,20kWh
14:14	36,70V	5,90A	216,53W	--	1,50kWh
15:15	35,80V	3,50A	125,30W	--	1,70kWh
16:12	35,60V	8,10A	288,36W	--	1,90kWh
17:13	37,70V	3,20A	120,64W	--	2,00kWh
18:14	32,60V	0,50A	16,30W	--	2,10kWh
18:37	0V	0A	0W	--	2,10kWh

4º DIA – PV 3

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
07:55	0V	0A	0W	--	0kWh
08:55	32,60V	0,20A	6,52W	--	0kWh
09:56	37,80V	3,20A	120,96W	--	0kWh
10:57	40,10V	8,10A	324,81W	--	0,20kWh
11:56	40V	9,80A	392W	--	0,60kWh
12:51	36,90V	5,90A	217,71W	--	0,90kWh
13:52	40,50V	6,70A	271,35W	--	1,10kWh
14:51	37,40V	4,90A	183,26W	--	1,30kWh
15:52	37,80V	6A	226,80W	--	1,60kWh
16:53	37,70V	3,60A	135,72W	--	1,80kWh
17:52	35,30V	0,70A	24,71W	--	1,80kWh
18:32	0V	0A	0W	--	1,80kWh
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--

5º DIA – PV 3

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:26	0V	0A	0W	--	0kWh
07:26	35V	0,50A	17,50W	--	0kWh
08:27	35,60V	1,10A	39,16W	--	0kWh
09:26	34,10V	1,30A	44,33W	--	0kWh
10:27	34,30V	1,10A	37,73W	--	0,10kWh
11:28	34,30V	1,10A	37,73W	--	0,10kWh
12:28	37V	1,50A	55,50W	--	0,20kWh
13:28	37,60V	4,80A	180,48W	--	0,40kWh
14:29	36,60V	1,60A	58,56W	--	0,50kWh
15:24	37,60V	1,20A	45,12W	--	0,60kWh
16:25	36,60V	2,10A	76,23W	--	0,60kWh
17:26	34,30V	0,60A	20,58W	--	0,60kWh
18:26	27,60V	0A	0W	--	0,60kWh
18:28	0V	0A	0W	--	0,60kWh

6º DIA – PV 3

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:05	0V	0A	0W	--	0kWh
07:05	38V	0,90A	34,20W	--	0kWh
08:06	39,30V	3,70A	145,41W	--	0kWh
09:05	38,40V	6,50A	249,60W	--	0,20kWh
10:06	38,30V	8,70A	333,21W	--	0,50kWh
11:07	39,20V	9,80A	384,16W	--	0,90kWh
12:06	24,80V	13,60A	337,28W	--	1,30kWh
13:07	36,60V	9,90A	362,34W	--	1,60kWh
14:07	39,30V	9,30A	365,49W	--	1,90kWh
15:07	39,20V	7,20A	282,24W	--	2,20kWh
16:07	38,80V	3,10A	120,28W	--	2,40kWh
17:08	36,60V	2,90A	106,14W	--	2,50kWh

18:07	33,20V	0,50A	16,60W	--	2,60kWh
18:39	0V	0A	0W	--	2,60kWh

7º DIA – PV 3

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:08	0V	0A	0W	--	0kWh
07:09	34V	0,90A	30,60W	--	0kWh
08:04	37,10V	2,30A	85,33W	--	0kWh
09:06	36,80V	2,40A	88,32W	--	0,10kWh
10:04	38,60V	8A	308,80W	--	0,30kWh
11:05	39,50V	9,90A	391,05W	--	0,60kWh
12:06	40,10V	5,30A	212,53W	--	1kWh
13:05	41,50V	7,40A	307,10W	--	1,20kWh
14:06	42,10V	6,90A	290,49W	--	1,50kWh
15:07	37,80V	9A	340,20W	--	1,70kWh
16:06	38,70V	6,70A	259,29W	--	2kWh
17:06	37,50V	3,10A	116,25W	--	2,10kWh
18:03	35,50V	1A	35,50W	--	2,20kWh
18:16	0V	0A	0W	--	2,20kWh

1º DIA – PV 4

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:22	0V	0A	0W	--	0kWh
07:20	35,60V	0,60A	21,36W	--	0kWh
08:22	38,8V	2,40A	93,12W	--	0kWh
09:22	37,90V	2,70A	102,33W	--	0,10kWh
10:23	27V	3,40A	91,80W	--	0,20kWh
11:24	37,70V	5,10A	192,27W	--	0,40kWh
12:23	40,60V	7,70A	312,62W	--	0,70kWh
13:24	37,3V	6,70A	249,91W	--	0,90kWh
14:25	37,40V	4,70A	175,78W	--	1,20kWh

15:24	37V	4,80A	177,60W	--	1,40kWh
16:25	38,70V	5,80A	224,46W	--	1,60kWh
17:25	37,70V	2,50A	94,25W	--	1,70kWh
18:25	22,50V	0,10A	2,25W	--	1,70kWh
18:37	0V	0A	0W	--	1,70kWh

3º DIA – PV 4

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:08	0V	0A	0W	--	0kWh
07:08	40,90V	0,90A	36,81W	--	0kWh
08:09	36,80V	2,50A	92W	--	0kWh
09:08	38,50V	6,50A	250,25W	--	0,20kWh
10:10	31V	10,50A	325,50W	--	0,50kWh
11:11	37,50V	9A	337,50W	--	0,80kWh
12:11	---	---	---	--	---
13:13	37,10V	9,90A	367,29W	--	1,20kWh
14:14	36,10V	6A	216,60W	--	1,40kWh
15:15	36,10V	3,50A	126,35W	--	1,70kWh
16:12	32,80V	7,90A	259,12W	--	1,90kWh
17:13	37,50V	3,10A	116,25W	--	2,00kWh
18:14	33,80V	0,40A	13,52W	--	2,10kWh
18:37	0V	0A	0W	--	2,10kWh

4º DIA – PV 4

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
07:55	0V	0A	0W	--	0kWh
08:55	31,10V	0,20A	6,22W	--	0kWh
09:56	37,70V	3,20A	120,64W	--	0kWh
10:57	40,10V	8,10A	324,81W	--	0,20kWh
11:56	40,60V	9,80A	397,88W	--	0,60kWh
12:51	37,70V	6,70A	252,59W	--	0,90kWh
13:52	37,20V	7,90A	293,88W	--	1,20kWh

14:51	37,30V	4,80A	179,04W	--	1,30kWh
15:52	38,20V	5,79A	217,74W	--	1,60kWh
16:53	37,50V	3,40A	127,50W	--	1,80kWh
17:52	34,30V	0,70A	24,01W	--	1,80kWh
18:32	0V	0A	0W	--	1,80kWh
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--

5º DIA – PV 4

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:26	0V	0A	0W	--	0kWh
07:26	34,50V	0,40A	13,80W	--	0kWh
08:27	32,30V	1,30A	41,99W	--	0kWh
09:26	36,50V	1,10A	40,15W	--	0kWh
10:27	35,80V	1A	35,80W	--	0,10kWh
11:28	33,10V	1,20A	39,72W	--	0,10kWh
12:28	37,70V	1,30A	49,01W	--	0,20kWh
13:28	37,80V	4,70A	177,66W	--	0,40kWh
14:29	38,70V	1,40A	54,18W	--	0,50kWh
15:24	33,80V	1,30A	43,94W	--	0,50kWh
16:25	36V	2A	72W	--	0,60kWh
17:26	33,20V	0,60A	19,92W	--	0,60kWh
18:26	27,60V	0A	0W	--	0,60kWh
18:28	0V	0A	0W	--	0,60kWh

6º DIA – PV 4

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:05	0V	0A	0W	--	0kWh
07:05	38,50V	0,80A	30,80W	--	0kWh
08:06	39V	3,70A	144,30W	--	0kWh
09:05	39V	6,30A	245,70W	--	0,20kWh
10:06	33,90V	9,30A	315,27W	--	0,50kWh

11:07	38,90V	9,80A	381,22W	--	0,90kWh
12:06	31,50V	10,90A	343,35W	--	1,20kWh
13:07	37,10V	9,70A	359,87W	--	1,60kWh
14:07	38,60V	9,40A	362,84W	--	1,90kWh
15:07	36,10V	8A	288,80W	--	2,20kWh
16:07	36,40V	3,20A	116,48W	--	2,40kWh
17:08	36,40V	2,80A	101,92W	--	2,50kWh
18:07	32,80V	0,50A	16,40W	--	2,50kWh
18:39	0V	0A	0W	--	2,50kWh

7º DIA – PV 4

HORARIO	TENSÃO	CORRENTE	POTÊNCIA	TEMPERATURA	GERAÇÃO
06:08	0V	0A	0W	--	0kWh
07:09	34,10V	0,80A	27,28W	--	0kWh
08:04	36V	2,30A	82,80W	--	0kWh
09:06	36,50V	2,40A	87,60W	--	0,10kWh
10:04	37V	8,20A	303,40W	--	0,30kWh
11:05	39,10V	9,80A	383,18W	--	0,60kWh
12:06	38,60V	5,60A	216,16W	--	1kWh
13:05	41,10V	7,50A	308,25W	--	1,20kWh
14:06	41,70V	7,30A	304,41W	--	1,50kWh
15:07	36,90V	8,80A	324,72W	--	1,70kWh
16:06	38V	6,60A	250,80W	--	2kWh
17:06	37,60V	3A	112,80W	--	2,10kWh
18:03	36,70V	0,80A	29,36W	--	2,20kWh
18:16	0V	0A	0W	--	2,20kWh

Anexos

ANEXO A – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO JAM72S30-540/MR

Harvest the Sunshine

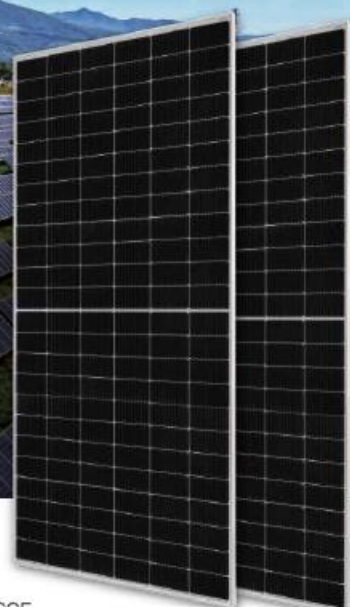


Mono

550W MBB Half-cell Module

JAM72S30 525-550/MR Series

Introduction
 Assembled with 11BB PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.





Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss

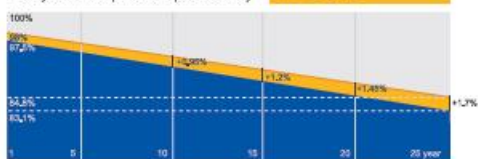


Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years



■ New linear power warranty ■ Standard module linear power warranty

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval





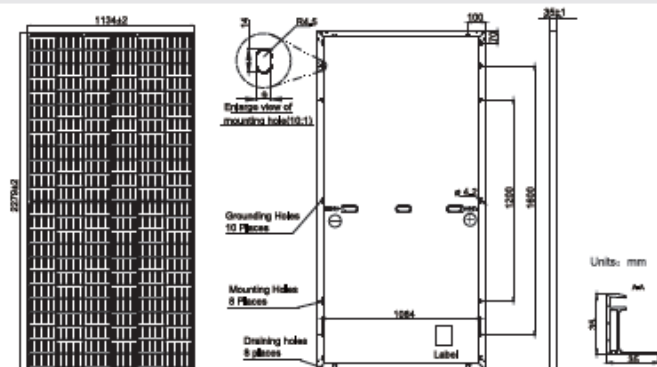
JA SOLAR

www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests. JA Solar reserves the right of final interpretation.



MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	28.5kg±3%
Dimensions	2279±2mm×1134±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144(6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-3S(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1300mm(+)/1300mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/Pallet, 620pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Maximum Power(P _{max}) [W]	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	49.15	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90
Maximum Power Voltage(V _{mp}) [V]	41.15	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00
Maximum Power Current(I _{mp}) [A]	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11
Module Efficiency [%]	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3
Power Tolerance	0→+5W					
Temperature Coefficient of I _{sc} (α _{Isc})	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of V _{oc} (β _{Voc})	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of P _{max} (γ _{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

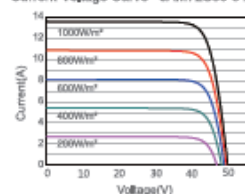
TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Max Power(P _{max}) [W]	397	401	405	408	412	416
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	46.05	46.18	46.31	46.43	46.55	46.68
Max Power Voltage(V _{mp}) [V]	38.36	38.57	38.78	38.99	39.20	39.43
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	10.97	11.01	11.05	11.09	11.13	11.17
Max Power Current(I _{mp}) [A]	10.35	10.39	10.43	10.47	10.51	10.55
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					

OPERATING CONDITIONS

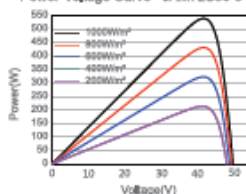
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40 °C ~+85 °C
Maximum Series Fuse Rating	25A
Maximum Static Load Front*	5400Pa(112lb/ft ²)
Maximum Static Load Back*	2400Pa(50lb/ft ²)
NOCT	45±2 °C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

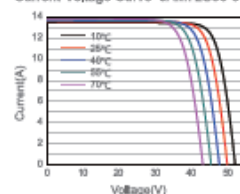
Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Power-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



ANEXO B – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO BYD540-MLK-36



BYD

BYD MLK-36 MONOFACIAL 520W - 540W

BNDES **IEC** **ISO** **LANÇAMENTO!**

FABRICAÇÃO NACIONAL
#valorize o produto nacional

MONOCRISTALINO PERC, SINGLE GLASS, HALF CELL E MULTI BUSBAR

O módulo fotovoltaico MLK-36 é produzido nacionalmente com tecnologias avançadas de micro-gaps, ou seja, com espaçamentos milimétricos, são múltiplos barramentos que conectam 144 células mono PERC half-cell de 22,6% de eficiência, este é um produto single glass. Ideal para situações em que é necessário atingir maior potência num espaço físico limitado.



Multi busbar



Micro-gap



Mono PERC



Half-cell



100%
97%
80%

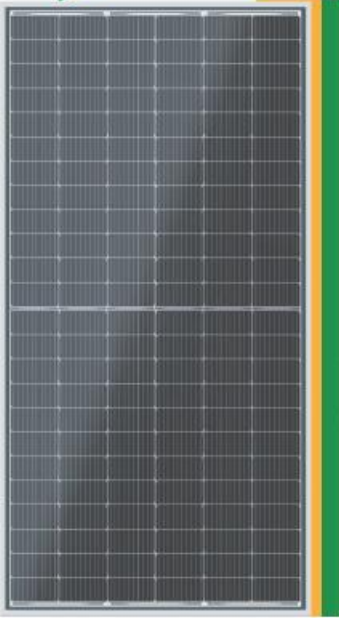
1 5 12 15 20 25

■ Garantia linear BYD ■ Garantia da indústria

12 ANOS
Garantia de fabricação

25 ANOS
Garantia de performance

- 0,45%
Degradação anual



Certificações:
IEC 61215-1(ed.1); IEC 61215-1-1(ed.1); IEC 61215-2(ed.1); IEC 61730-1(ed.2); IEC 61730-2(ed.2)

Declaração: Com o desenvolvimento técnico dos produtos, pode haver uma divergência entre os parâmetros técnicos dos produtos futuros da BYD e as especificações técnicas descritas neste datasheet. Sendo assim, a BYD reserva o direito de realizar ajustes técnicos neste documento sem aviso prévio aos consumidores. A BYD também reserva o direito final de interpretação. (V.01/21)

NOSSA ATUAÇÃO NO BRASIL

WWW.BYD.COM.BR

A BYD é a principal empresa fabricante de módulos fotovoltaicos no Brasil, a unidade fabril foi fundada em 2017, na cidade de Campinas, São Paulo. Com uma forte atuação em inovação e incentivo à pesquisa, a empresa vêm realizando constantes investimentos em laboratórios, maquinários, usinas experimentais e especialização e capacitação de equipes de pesquisa e desenvolvimento, engenharia, pós-vendas e suporte técnico, todas dedicadas para atender a crescente demanda do setor fotovoltaico brasileiro. A BYD acredita no potencial de transição energética do Brasil e cinco anos após a inauguração da fábrica, a empresa volta a fazer aportes significativos visando o aumento da capacidade produtiva, dando início à comercialização da nova geração de módulos fotovoltaicos, mais potentes e eficientes.

BYD MLK-36 MONOFACIAL 520W-540W

PROPRIEDADES MECÂNICAS

Tipo de Célula	182mm*91mm
Número de Células	144
Dimensão do Módulo	2256*1133*35mm
Peso	29kg ± 5%
Vidro Frontal	3.2mm Vidro Temp. A.R
Estrutura de Frame	Alumínio Anodizado
Caixa de Junção	IP68 (3 Diodos)
Tamanho do Cabo	+320mm, -260mm (4.0mm ²)
Conector	Compatível Conector MC4

COEFICIENTE DE TEMPERATURA

Potência Pico	-0.328%/°C
Tensão de Circuito Aberto	-0.254%/°C
Corrente de Curto Circuito	+0.041%/°C

INFORMAÇÕES DE TRANSPORTE

Tipo de Veículo	Carreta 13.5m
Peças por Pallet	31
Pallet por Carreta	22
Peças por Carreta	682

DADOS ELÉTRICOS (STC*)

Condições de teste padrão (STC): Irradiância de 1000 W/m², espectro AM 1.5 e temperatura da célula de 25°C

Tipo do Módulo	520 MLK-36	525 MLK-36	530 MLK-36	535 MLK-36	540 MLK-36
Taxa de Máx. Potência (Pmax) [W]	520Wp	525Wp	530Wp	535Wp	540Wp
Tensão de Circuito Aberto (Voc) [V]	48.52V	48.82V	49.12V	49.42V	49.72V
Corrente de Curto Circuito (Isc) [A]	13.37A	13.41A	13.45A	13.49A	13.53A
Tensão de Máx. Potência (Vmp) [V]	41.17V	41.39V	41.61V	41.83V	42.05V
Corrente de Máx. Potência (Imp) [A]	12.64A	12.69A	12.74A	12.79A	12.84A
Eficiência do Módulo [%]	20.32%	20.51%	20.71%	20.90%	21.10%

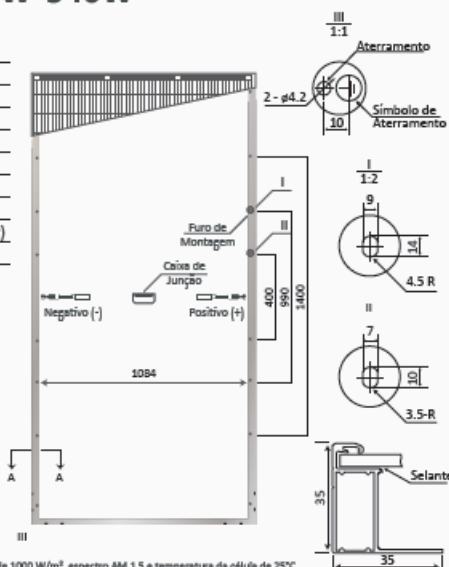
DADOS ELÉTRICOS (NMOT*)

Temperatura nominal do módulo (NMOT): Irradiância de 800W/m², espectro AM 1.5 temperatura ambiente 20°C, velocidade do vento 1m/s.

Tipo do Módulo	520 MLK-36	525 MLK-36	530 MLK-36	535 MLK-36	540 MLK-36
Potência Máx. (Pmax) [W]	392.0W	395.9W	399.5W	403.1W	406.69W
Tensão de Circuito Aberto (Voc) [V]	45.70V	46.00V	46.30V	46.60V	46.86V
Corrente de Curto Circuito (Isc) [A]	10.77A	10.81A	10.84A	10.87A	10.91A
Tensão de Máx. Potência (Vmp) [V]	38.30V	38.50V	38.80V	39.00V	39.23V
Corrente de Máx. Potência (Imp) [A]	10.24A	10.27A	10.30A	10.33A	10.36A

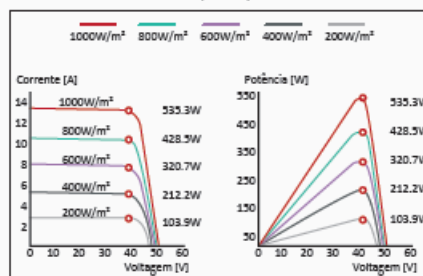
PARÂMETROS OPERACIONAIS

Temperatura de Operação [°C]	-40°C ~ +85°C
Temperatura de Operação da célula	45°C ± 2°C
Tensão Máx. do Sistema [V]	1500 (VDC)
Corrente Máx. do Fusível [A]	25A
Proteção contra Incêndios	Classe C
Tolerância de Potência	0-5W



CURVA I-V

Curva de Corrente-Tensão (535W)



ANEXO C – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO JAM72D30-540/MB

Harvest the Sunshine

DEEP BLUE 3.0

Mono

550W MBB Bifacial Mono PERC
Half-cell Double Glass Module

JAM72D30 525-550/MB Series

Introduction

Assembled with 11BB bifacial PERCium cells and half-cell configuration, these double glass modules have the capability of converting the incident light from the rear side together with the front side into electricity, providing higher output power, lower temperature coefficient, less shading loss, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



More reliable, more stable
power generation



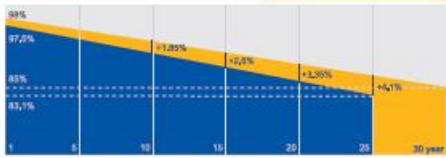
Less shading effect



Lower temperature coefficient

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 30-year linear power output warranty



Bifacial double glass module linear power warranty
 Standard module linear power warranty

0.45% Annual Degradation Over 30 years

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval





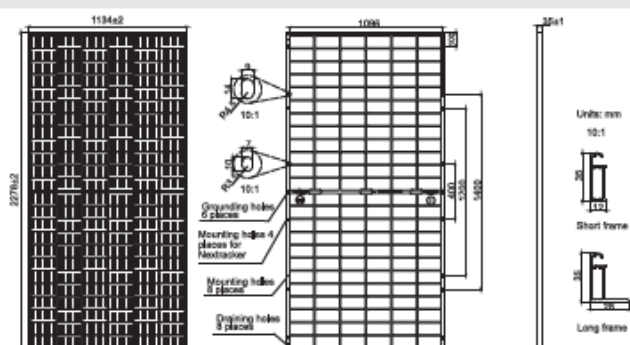
JA SOLAR

www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests.
JA Solar reserves the right of final interpretation.



MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	31.5kg±3%
Dimensions	2278±2mm×1134±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm² (IEC, 12 AWG(UL))
No. of cells	144(6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4,10-35
Cable Length (Including Connector)	Portrait:300mm(+)/400mm(+); Landscape:1300mm(+)/1300mm(+)
Front Glass/Back Glass	2.0mm/2.0mm
Packaging Configuration	31pcs/Pallet 620pcs/40HQ Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72D30 -525/MB	JAM72D30 -530/MB	JAM72D30 -535/MB	JAM72D30 -540/MB	JAM72D30 -545/MB	JAM72D30 -550/MB
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.15	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.15	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11
Module Efficiency [%]	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3
Power Tolerance	0→±5W					
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

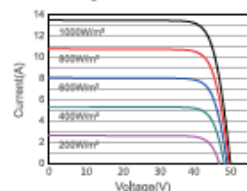
ELECTRICAL CHARACTERISTICS WITH 10% SOLAR IRRADIATION RATIO

TYPE	JAM72D30 -525/MB	JAM72D30 -530/MB	JAM72D30 -535/MB	JAM72D30 -540/MB	JAM72D30 -545/MB	JAM72D30 -550/MB	Maximum System Voltage	1500V DC
Rated Max Power(Pmax) [W]	562	567	572	578	583	589	Operating Temperature	-40°C~+85°C
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.54	49.67	49.80	49.93	50.03	50.21	Maximum Series Fuse Rating	30A
Max Power Voltage(Vmp) [V]	41.14	41.31	41.47	41.65	41.78	41.95	Maximum Static Load, Front* Maximum Static Load, Back*	5400Pa(112 lbf/ft²) 2400Pa(50 lbf/ft²)
Short Circuit Current(Isc) [A]	14.81	14.88	14.96	14.83	14.91	14.98	NOCT	45±2°C
Max Power Current(Imp) [A]	13.65	13.73	13.80	13.88	13.95	14.03	Bifaciality**	70%±10%
Irradiation Ratio(rear/front)	10%						Fire Performance	UL Type 29
*For NextTracker installations, Maximum Static Load, Front is 2400Pa while Maximum Static Load, Back is 2400Pa, **Bifaciality=Pmax.rear/Pmax.front								

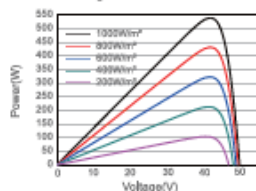
OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTICS

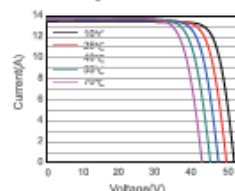
Current-Voltage Curve JAM72D30-540/MB



Power-Voltage Curve JAM72D30-540/MB



Current-Voltage Curve JAM72D30-540/MB



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20210909A

ANEXO D – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO CS6W-540MS





HiKu6 Mono PERC

535 W ~ 560 W
CS6W-535 | 540 | 545 | 550 | 555 | 560MS

MORE POWER

-  Module power up to 560 W
Module efficiency up to 21.7 %
-  Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 5.6 % lower system cost
-  Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation
-  Compatible with mainstream trackers, cost effective product for utility power plant
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa*

12 Years Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*

25 Years Linear Power Performance Warranty*

1st year power degradation no more than 2%
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety
IEC62941: 2019 / Photovoltaic module manufacturing quality system

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO / MCS / UKCA
CEC listed (US California) / PSECC (US Florida)
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 63126 Level1 / IEC 60068-2-68
UL9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way










* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your Product and applicable in the regions in which the products will be used.

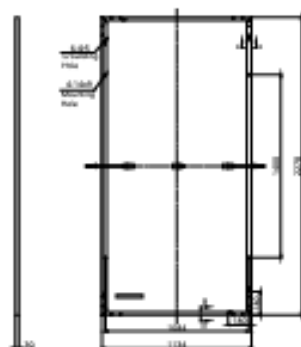
CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar photovoltaic modules, solar energy and battery storage solutions to customers. The company was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey. Over the past 22 years, it has successfully delivered around 100 GW of premium-quality solar modules across the world.

* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)

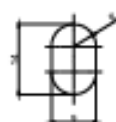
Rear View



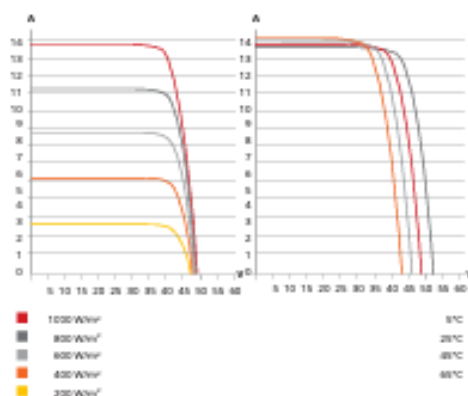
Frame Cross Section



Mounting Hole



CS6W-535MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6W	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS	560MS
Nominal Max. Power (P _{max})	535 W	540 W	545 W	550 W	555 W	560 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V	41.9 V	42.1 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A	13.25 A	13.31 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V	50.0 V
Short Circuit Current (I _{sc})	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A	14.05 A	14.10 A
Module Efficiency	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%	21.7%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	25 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ +10 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6W	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS	560MS
Nominal Max. Power (P _{max})	401 W	405 W	409 W	412 W	416 W	420 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V	39.5 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	10.42 A	10.47 A	10.52 A	10.55 A	10.59 A	10.64 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	46.3 V	46.5 V	46.7 V	46.9 V	47.1 V	47.3 V
Short Circuit Current (I _{sc})	11.17 A	11.21 A	11.25 A	11.29 A	11.33 A	11.37 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 23°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2278 x 1134 x 30 mm (89.7 x 44.6 x 1.18 in)
Weight	27.6 kg (60.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	350 mm (13.8 in) (+) / 250 mm (9.8 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A
Per Pallet	35 pieces
Per Container (40' HQ)	700 pieces or 630 pieces (only for US & Canada)

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (P _{max})	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (V _{oc})	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (I _{sc})	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.

199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

Sept. 2023. All rights reserved. PV Module Product Datasheet V2.8_EN

ANEXO E - DATASHEET MICROINVERSOR SUN1600G3-US-220

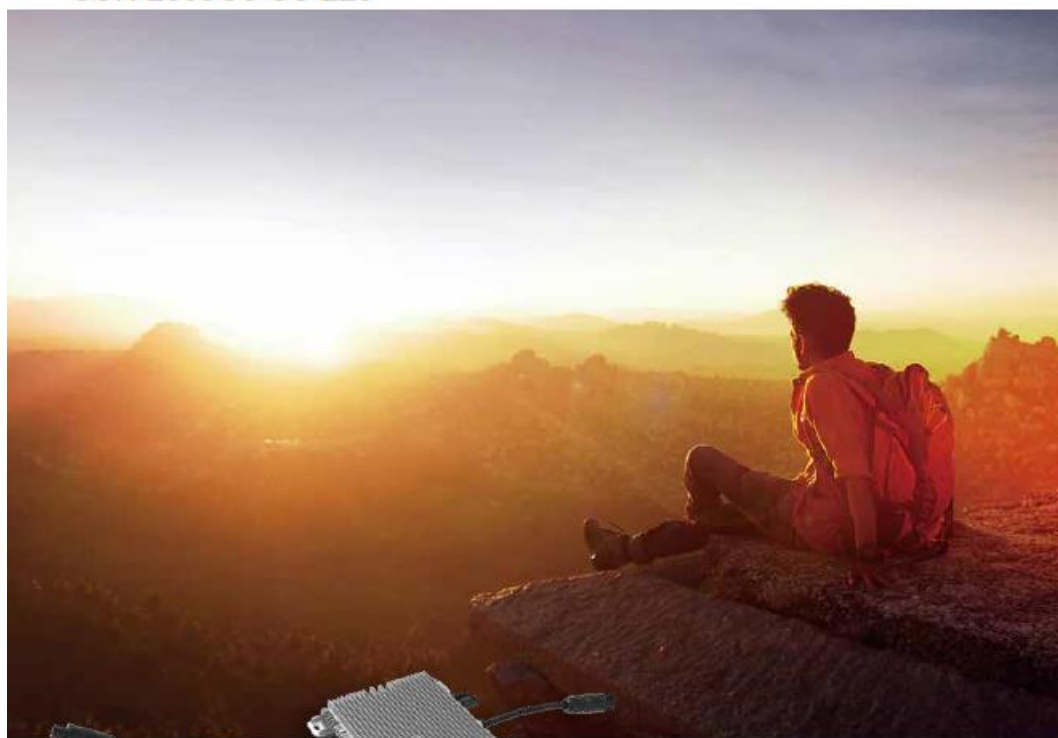
Microinversor

SUN-1300G3-US-220

SUN-1600G3-US-220

SUN-1800G3-US-220

SUN-2000G3-US-220



Função de desligamento rápido



Grau de proteção IP67 , 12 anos de garantia



Comunicação PLC, Zigbee ou WIFI



4 rastreadores MPPT, monitoramento a nível de módulo

Corrente máxima de entrada CC de 12.5A
Suportam módulos de até 600W**Deye***Clean Power For You*

Microinversor

Modelo	SUN1300G3-US-220	SUN1600G3-US-220	SUN1800G3-US-220	SUN2000G3-US-220
Dados de entrada (CC)				
Potência de entrada recomendada (STC)	210–450W (4 módulos)	210–600W (4 módulos)	210–600W (4 módulos)	210–600W (4 módulos)
Máx Tensão CC de Entrada	60V			
Faixa de Operação do MPPT	25–55V			
Faixa de Tensão Operacional CC	20–60V			
Máx Corrente de curto-circuito CC	16A			
Máx Corrente de Entrada	12.5A×4	12.5A×4	12.5A×4	12.5A×4
Dados de saída (CA)				
Potência de saída nominal	1300W	1600W	1800W	2000W
Máx Potência de saída	1430W	1760W	1980W	2200W
Máx Corrente de saída	6.2A	7.7A	8.6A	9.6A
Tensão nominal / Faixa	220V / 184-265V	230V / 184-265V	230V / 184-265V	230V / 184-265V
Frequência nominal / Faixa	50 / 60Hz			
Frequência estendida / Faixa	45–55Hz / 55–65Hz			
Fator de potência	>0.99			
Unidade máxima por cabo tronco	4	3	2	2
Eficiência				
Eficiência Ponderada CEC	95%			
Eficiência máxima do inversor	96.5%			
Eficiência Estática do MPPT	99%			
Consumo Noturno	50mW			
Dados Mecânicos				
Temperatura ambiente de Operação	-40–65°C			
Dimensões (mm)	267Lx300Ax42.5P (Sem suporte e cabo)			
Peso (kg)	5.2			
Arrefecimento	Convecção Natural			
Grau de proteção	IP67			
Características				
Comunicação	Power line / WIFI / Zigbee			
Conformidade	EN50549, VDE0126, VDE4105, IEC62109, CE, INMETRO			
Garantia	12 anos			

REVISADO EM 08/04/2021

Ningbo Deye Inverter Technology Co., Ltd

Add: No.26-30, South Yongjiang Road, Beilun, 315806, Ningbo, China | Tel: 0086-0574-86120560 | E-mail: market@deye.com.cn | Web: www.deyinverter.com