

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JONATHA MICHAEL LIMA DE ALMEIDA

**ESTUDO DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E RETORNO FINANCEIRO DE UM
SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

Uberlândia

2021

JONATHA MICHAEL LIMA DE ALMEIDA

**ESTUDO DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E RETORNO FINANCEIRO DE UM
SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia elétrica da Universidade Federal de Uberlândia – UFU - como requisito para obtenção de título de graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Josué Silva de Moraes

Uberlândia

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele não estaria aqui.

A toda minha família que sempre me apoiou e incentivou, em especial a minha mãe Vera Lúcia, por sua dedicação e apoio durante todos esses anos que me permitiu chegar até o final desse curso.

A todo corpo docente da Faculdade de Engenharia Elétrica de Uberlândia, professores e coordenadores, em especial ao meu professor e orientador Josué Silva de Moraes, e aos professores Aniel Silva de Moraes e Renato Santos Carrijo que aceitaram o convite para compor da minha banca de examinadora.

A todos os meus colegas de turma que estiveram comigo por todos esses anos, participando ativamente da minha formação e que levarei pro resto da vida.

A minha namorada Kamila pela paciência, carinho e compreensão.

E a todas as outras pessoas que de alguma forma fizeram parte desta conquista tão importante e significativa pra mim.

RESUMO

Tendo em vista que o Brasil devido a seu clima e aspectos geográficos tem um grande potencial para geração de energia fotovoltaica, contudo a capacidade de geração fotovoltaica no país corresponde a menos de 2% da matriz energética nacional, matriz essa, que é altamente dependente das hidrelétricas e que sofre constantemente por conta das crises hídricas. Este trabalho expõe um estudo demonstrando os custos envolvidos na implantação de um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede, bem como o retorno financeiro promovido pelo uso do sistema a curto e longo prazo, a fim de desmistificar o tema e disseminar o conhecimento para que esse tipo de energia seja mais amplamente utilizado. Para tal é mostrado como foi feito o dimensionamento do sistema, o levantamento de custos, o cálculo da energia gerada ao longo de 25 anos e o cálculo dos valores a serem reduzidos da conta de energia com o uso do sistema. Usando um indicador econômico foi feita uma previsão do retorno obtido pelo uso do sistema nos anos subsequentes. Diante disso foi possível constatar o rápido retorno do investimento gasto em um sistema de geração fotovoltaica, bem como sua alta lucratividade proveniente dos valores de energia economizados ao longo de anos.

Palavras chaves: Energia fotovoltaica. Energia solar. Geração distribuída. Cálculo de custo. Retorno Sobre Investimento.

ABSTRACT

Considering that Brazil, due to its climate and geographic aspects, has a great potential for photovoltaic energy generation, however the photovoltaic generation capacity in the country corresponds to less than 2% of the national energy matrix, which matrix is highly dependent on hydroelectric plants and that suffers constantly due to water crises. This work presents a study demonstrating the costs involved in the implementation of a on-grid photovoltaic generation system, as well as the financial return promoted by the use of the system in the short and long time, in order to demystify the subject and disseminate knowledge for this type of energy. be more widely used. To this end, it is shown how the sizing of the system was done, the survey of costs, the calculation of the energy generated over 25 years and the calculation of the values to be reduced from the energy bill with the use of the system. Using an economic indicator, a prediction of the return obtained by using the system in subsequent years was made. Given this, it was possible to see the quick return on investment spent on a photovoltaic generation system, as well as its high profitability from the energy values saved over the years.

Keywords: Photovoltaics energy. Solar energy. Distributed generation. Cost calculation. Return over Investment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Medidor eletrônico bidirecional de energia	17
Figura 2: Sistema de microgeração fotovoltaica sobre um telhado residencial	18
Figura 3: Diagrama representativo de um sistema fotovoltaico conectado à rede	22
Figura 4: Componentes de um módulo fotovoltaico	25
Figura 5: Células fotovoltaicas de silício	25
Figura 6: esquema básico de funcionamento de um inversor	28
Figura 7: Onda alternada produzida por um inversor simples	29
Figura 8: tipos de sinal gerados pelos inversores	29
Figura 9: Funcionamento de um inversor PWM de onda senoidal	30
Figura 10: Microinversor	31
Figura 11: Inversor string	31
Figura 12: String Box CC	32
Figura 13: Irradiação solar diária média mensal em Uberlândia-MG	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Potência de UFV instalada por municípios	20
Tabela 2: Eficiência de células fotovoltaicas	24
Tabela 3: Características elétricas dos módulos fotovoltaicos modelo P6C-36	26
Tabela 4. Orçamentos para implantação de sistema fotovoltaico	37
Tabela 5: Valor das propostas por potência a ser instalada.....	38
Tabela 6: estimativa de energia gerada e acumulada	41
Tabela 7. Valor tarifário CEMIG Classe B1	42
Tabela 8: Impostos incidentes	42
Tabela 9: Valor da energia com correção anual.....	44
Tabela 10: Expectativa de retorno financeiro	46
Tabela 11: Custo de disponibilidade	47
Tabela 12: Valores da conta mensal com e sem o sistema de geração fotovoltaica	48
Tabela 13: ROI nos meses do ano de 2023	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Empreendimentos energéticos outorgados em implantação	19
Gráfico 2. Capacidade total instalada por tipo de fonte geradora.....	19
Gráfico 3: I x V por faixas de potência do módulo CS3W-400PB-AG	27
Gráfico 4: I x V por faixa de temperatura do módulo CS3W-400PB-AG	27
Gráfico 5: Garantia linear de performance	40
Gráfico 6: Evolução da tarifa vs evolução do IPCA	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
CA – Corrente Alternada
CC – Corrente Contínua
CD – Custo de Disponibilidade
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais
CGH – Central Geradora Hidrelétrica
COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito
DDP – Diferença de potencial
DPS – Dispositivo de proteção contra surto
FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica
FF – Fase-Fase
FFN – Fase-Fase-Neutro
Gw – Gigawatts
I – Corrente elétrica
ICMS – Imposto sobre a circulação de mercadorias e serviços
Imp – Corrente máxima de operação
IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
Isc – Corrente de curto-circuito
Kw – Kilowatts
Kwp – Kilowatts pico
Mw – Megawatts
PASEP - Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
Pmax – Potência máxima em STC
PWM – Pulse Width Modulation (Modulação por largura de Pulso
ROI – Retorno Sobre Investimento
STC – Standard Testing Conditions (Condições padrões de teste)
UHE – Usina hidrelétrica
UFU – Universidade Federal de Uberlândia
UFV – Usina fotovoltaica

UTN – Usina termonuclear

UTE – Usina termelétrica

V - Voltagem

Vmp – Voltagem máxima de operação

Voc – Voltagem de circuito aberto

W – Watts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo geral	14
1.2 Objetivos específicos	14
1.3 Justificativa.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 A crise hídrica e o aumento da conta de energia no Brasil	16
2.2 Geração distribuída	16
2.3 A energia fotovoltaica no Brasil	18
2.4 Tipos de sistemas de geração fotovoltaico.....	20
2.5 Sistema de geração fotovoltaico conectado à rede	22
2.6 Componentes básicos do sistema de geração fotovoltaico.....	23
2.6.1 Módulos fotovoltaicos	23
2.6.2 Inversores.....	28
2.6.3 String Box CC.....	32
2.7 ROI – Retorno Sobre Investimento	32
3 METODOLOGIA.....	34
4 DIMENSIONAMENTO.....	35
5 LEVANTAMENTO DE CUSTOS	37
5.1 Custos de implantação do sistema.....	37
5.2 Estimando gastos com manutenção do sistema	38
5.3 Estimando a energia gerada pelo sistema	39
5.4 Custo da energia vendida pela concessionária	41
6 CALCULANDO O RETORNO FINANCEIRO	45
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS.....	52
ANEXO A – Datasheet módulo BYD	55
ANEXO B – Datasheet módulo Canadian	57
ANEXO C – Datasheet módulo Jinko.....	59
ANEXO D – Folheto inversor Fronius Primo	61
ANEXO E – Datasheet Microinversor APsystems	62

1 INTRODUÇÃO

O sol é a principal fonte de energia do nosso planeta, e se conseguíssemos captar toda a energia solar que incide na superfície da terra por um único dia, essa energia seria o suficiente para suprir a demanda energética mundial milhares de vezes nesse mesmo período de tempo (VILLALVA, 2012).

De acordo com o Atlas Solarimétrico do Brasil divulgado pelo CRESESB, a média de insolação no país é de 3mil horas ao ano, sendo ainda mais alta em algumas regiões. Isso mostra o grande potencial, e a geografia favorável que nosso país tem para utilização da energia fotovoltaica.

Mesmo com todo esse potencial e geografia favorável, a energia solar fotovoltaica compõe apenas 1,87% da nossa matriz energética segundo dados da ANEEL divulgados em 2021.

Desde 2012 quando foi criada a Resolução Normativa 482 pela ANEEL, qualquer pessoa que cumpra algumas regras básicas estabelecidas nessa resolução, pode ter seu próprio sistema de geração fotovoltaica conectado à rede, a fim de suprir suas necessidades energéticas e evitando os valores cada vez mais altos das contas de energia.

Mesmo com regras simples onde praticamente qualquer pessoa pode ter um sistema conectado a rede, a falta de conhecimento de muitas pessoas bem como a ideia errônea de que um sistema desse tipo tem um valor muito alto ou inacessível, faz com que muitas pessoas não despertem o interesse pelo assunto.

Este trabalho tem por objetivo demonstrar através de cálculos e pesquisa, o custo de implantação e manutenção de um sistema de geração fotovoltaica conectado a rede, bem como mostrar o retorno financeiro desse sistema a curto, e longo prazo.

Para isso primeiramente será apresentado um referencial teórico com os conceitos e dados pertinentes para o melhor entendimento do assunto.

Nos capítulos seguintes será feito o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede, e o levantamento dos custos envolvidos na implantação e manutenção desse sistema.

O capítulo seguinte é dedicado ao cálculo dos valores atuais e estimativa de valores futuros da conta de energia elétrica paga a concessionária.

Por último será feita uma comparação dos valores obtidos a fim de constatar através de indicadores econômicos, o retorno financeiro a ser obtido com a implantação do sistema

1.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é fazer uma análise abordando os custos de implantação e manutenção de um sistema fotovoltaico conectado à rede, bem como determinar o seu retorno financeiro a curto, médio e longo prazo, utilizando para isso indicadores econômicos para mensurar de maneira mais perceptível o retorno financeiro ao longo dos anos.

1.2 Objetivos específicos

Demonstrar de maneira simplificada como é feito o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

Demonstrar os custos médios de implantação de um sistema fotovoltaico na região de Uberlândia-MG

Demonstrar o baixo custo de manutenção de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

Estimar o rendimento de um sistema de geração fotovoltaica ao longo de 25 anos, considerando a redução anual da eficiência dos módulos.

Estimar o valor da conta de energia elétrica paga a concessionária ao longo de 25 anos, considerando o reajuste anual que o valor da energia sofre.

Fazer uma previsão do retorno financeiro a ser obtido pela implantação do sistema pelos próximos anos, mostrando o ROI do sistema a cada ano.

1.3 Justificativa

Há anos o Brasil vem sofrendo com secas e baixas nos reservatórios das usinas hidrelétricas, usinas essas que compõe mais da metade da nossa matriz energética (ANEEL, 2021).

O sol que causa as secas e baixas dos reservatórios, é o mesmo sol que gera energia através dos sistemas de geração fotovoltaicos, por isso deve se procurar uma

maneira de usá-lo a favor da geração de energia, ao invés de se insistir em sistemas de geração que sofrem por sua conta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordadas algumas teorias a respeito da geração fotovoltaica bem como outras teorias pertinentes para o entendimento do desenvolvimento do trabalho.

2.1 A crise hídrica e o aumento da conta de energia no Brasil

Segundo reportagem exibida pela Globo no Jornal Nacional em 15 de junho de 2021, durante esse ano até o presente momento a conta de energia elétrica já aumentou 7%, e as bandeiras tarifárias devem aumentar mais 20% nas próximas semanas e uma alta de 5% já é prevista para o ano que vem, segundo André Pepitone, diretor geral da ANEEL.

A crise hídrica que assola o Brasil já é um problema antigo, mais que está ainda pior durante esse ano. Este ano o Brasil enfrenta a pior estiagem dos últimos 91 anos (G1, 2021).

Com a crise hídrica e a redução da energia produzida pelas hidrelétricas, para manter o abastecimento de energia o governo passa a utilizar as termelétricas, que tem um custo maior de operação e utilizam de fontes não renováveis para gerar energia. A utilização das termelétricas gera um grande aumento na conta de energia do consumidor final.

2.2 Geração distribuída

Em 17 de abril de 2012 a ANEEL publicou a Resolução Normativa 482, que regulamenta a microgeração e minigeração distribuída no Brasil. Foi um marco histórico no setor, pois através dessa resolução a ANEEL criou as regras de compensação, que permite que o consumidor conecte um sistema gerador de energia elétrica próprio, oriundo de fontes renováveis (hidráulica, Solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada), paralelamente às redes de distribuição das concessionárias (ANEEL, 2012).

O sistema de compensação funciona da seguinte maneira: o consumidor conecta seu sistema de geração a rede da concessionária, onde a energia gerada

pelo seu sistema será injetada na rede da concessionária, passando por um medidor de energia bidirecional (Figura 1), onde que fará a contabilização da energia injetada no sistema e da energia utilizada do sistema. No final de cada ciclo (de 1 mês), o valor injetado no sistema, se maior que o consumido, será disponibilizado ao cliente como crédito, que poderá utilizar neste ou em outro local dentro de até 60 meses.

Consumidores que possuem mais de uma unidade consumidora, podem ainda fazer o uso dos créditos gerados por uma unidade, nas outras unidades que possui, definido como autoconsumo remoto (ANEEL, 2021).

Figura 1: Medidor eletrônico bidirecional de energia



Fonte: ELETRA, 2021

A ANEEL define como Microgeração o sistema gerador de energia elétrica através de fontes renováveis, com potência instalada inferior ou igual a 75 kW. E Minigeração um sistema gerador de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW (para fonte hídrica) e menor ou igual a 5 MW para as demais fontes renováveis (Solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada).

Figura 2: Sistema de microgeração fotovoltaica sobre um telhado residencial



Fonte: Autoria própria, 2021

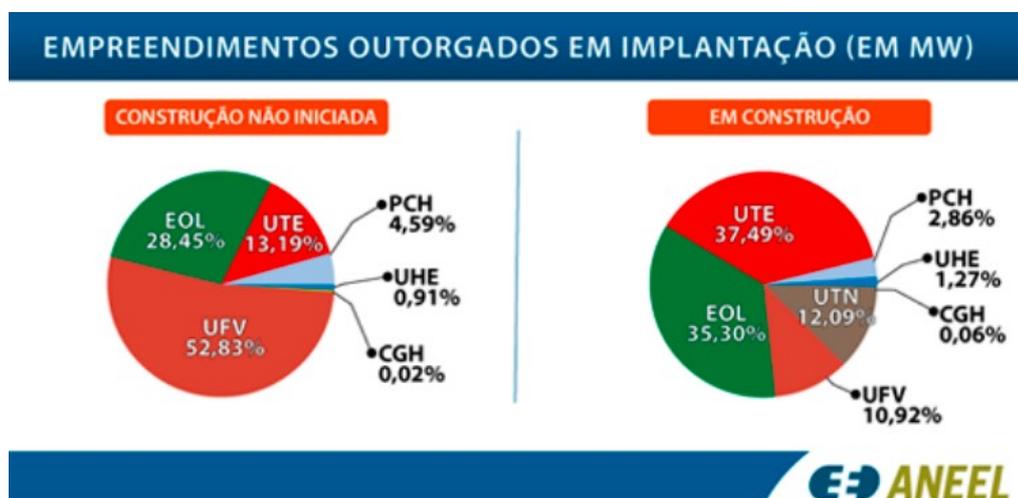
2.3 A energia fotovoltaica no Brasil

A energia solar fotovoltaica é a energia proveniente do sol, que é transformada diretamente em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Este é o tipo de energia atualmente com o maior crescimento mundo no que diz respeito ao seu uso (VILLALVA, 2012).

No Brasil a energia solar cresce a uma taxa altíssima, e desde 2017 a potência total instalada vem dobrando a cada ano, em 2017 a potência instalada no país era de 1Gw, passando pra 2Gw em 2018 e ultrapassando 6Gw em 2020 quanto dos dados foram obtidos (ABSOLAR, 2020).

O gráfico de empreendimentos energéticos outorgados em implantação no país (gráfico 1), divulgado pela ANEEL em março de 2021, mostra a grande quantidade de UFV sendo implantadas no país.

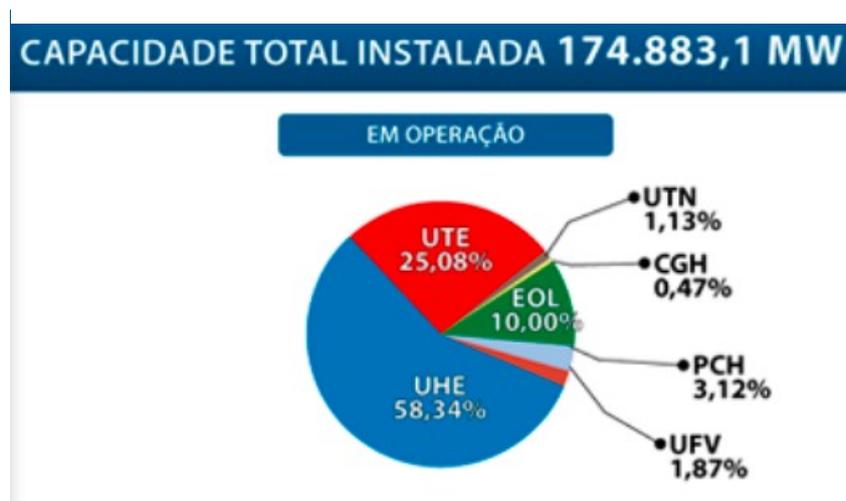
Gráfico 1. Empreendimentos energéticos outorgados em implantação



Fonte: ANEEL, 2021

Mesmo com o alto crescimento do setor, a participação das Usinas Fotovoltaicas na matriz energética brasileira ainda é pouco significativa quando comparada as outras fontes de energia utilizadas no país, como mostra o gráfico 2.

Gráfico 2. Capacidade total instalada por tipo de fonte geradora



Fonte: ANEEL, 2021

Este cenário mostra que ainda há um potencial de expansão muito alto desse tipo de geração distribuída no Brasil pelos próximos anos.

Em 2020 Uberlândia-MG era a cidade com a maior potência instalada em energia fotovoltaica do Brasil (GONÇALVES, 2020). Atualmente a cidade ocupa o 4º lugar no ranking com uma potência total instalada de 59,1Mw, ficando atrás de Teresina-PI, Brasília-DF e Cuiabá-MT que atualmente é quem lidera o ranking com 75,2Mw de potência instalada, como pode ser visto na tabela 1 (ANEEL, 2021).

Tabela 1. Potência de UFV instalada por municípios

MUNICUF	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
Cuiabá - MT	6.508	6.618	75.207,03
Brasília - DF	3.600	4.686	73.377,04
Rio de Janeiro - RJ	5.761	5.931	65.434,68
Teresina - PI	5.168	6.366	59.630,52
Uberlândia - MG	4.771	5.685	59.156,78
Fortaleza - CE	4.067	5.021	51.787,67
Goiânia - GO	3.996	4.655	48.443,40
Belo Horizonte - MG	3.600	4.515	35.023,93
Campo Grande - MS	3.808	4.568	33.661,02
Petrolina - PE	2.281	3.375	31.985,72
Sorriso - MT	1.465	1.516	30.582,53
Manaus - AM	1.955	2.355	30.030,86
Palmas - TO	3.651	3.685	29.611,79
Montes Claros - MG	2.444	3.222	26.060,45
Rondonópolis - MT	2.322	2.360	25.150,89
Caxias do Sul - RS	1.765	2.082	25.091,62
Sinop - MT	1.923	1.957	24.980,17
Natal - RN	1.917	2.019	24.673,50
Várzea Grande - MT	2.174	2.213	24.321,38
Governador Valadares - MG	2.763	3.787	23.127,36

Fonte: ANEEL, 2021

2.4 Tipos de sistemas de geração fotovoltaico

Existem basicamente 3 tipos de sistemas de geração fotovoltaica, o sistema fotovoltaico autônomo ou isolado (off-grid) que trabalha de maneira isolada da rede da concessionária, utilizando de baterias para armazenar a energia gerada. O sistema conectado à rede (on-grid), sistema que trabalha conectado à rede da concessionária, e não possui baterias para armazenamento de energia. E por último o sistema solar

híbrido, que é uma mistura dos dois primeiros, utilizando baterias e também conectado na rede.

Dentre os tipos de sistemas disponíveis atualmente para uso residencial/comercial no Brasil, dois deles são os mais usados, os sistemas on-grid (conectados à rede) e os sistemas off-grid (desconectado da rede).

No sistema on-grid, o gerador trabalha o tempo todo conectado com a concessionária, toda energia gerada pelo sistema que não for consumida imediatamente, é injetada na rede da concessionária que através de um medidor bidirecional que mede a quantidade de energia utilizada e gerada durante o mês, gerando assim créditos pela energia injetada em sua rede, créditos esses que poderão ser utilizados posteriormente.

Já no sistema off-grid, a energia gerada e não utilizada no momento, é armazenada em bancos de bateria, e poderá ser utilizada a qualquer momento pelo usuário, sem que dependa da concessionária para isso.

Ambos os sistemas apresentam vantagens e desvantagens. No sistema on-grid tem-se a vantagem de estar sempre conectado a rede, assim com uma falha do sistema a residência/comércio não ficará sem energia, podendo utilizar a energia da concessionária, bem como em horários onde o sistema não está gerando energia. Por outro lado, com uma falha da energia da concessionária, o sistema fica impossibilitado de ser utilizado, mesmo que esteja gerando energia no momento esse sistema não permite que o usuário utilize a energia em falta de energia por parte da concessionária.

No sistema off-grid o usuário não precisa manter uma conta na concessionária, assim não depende em nada da concessionária para gerar e utilizar sua energia. A desvantagem é que em falha do próprio sistema, o estabelecimento deve ficar sem energia até que a falha seja corrigida.

Em se tratando de vantagens e desvantagens, o valor de cada sistema é o que mais define a escolha da maioria das pessoas. Os sistemas on-grid são mais amplamente utilizados no Brasil, devido ao seu custo ser bem abaixo dos sistemas off-grid. Os sistemas off-grid tem um custo mais elevado devido ao valor extra dos bancos de baterias que são necessários para o funcionamento do sistema, fazendo com que esses sistemas sejam utilizados geralmente apenas em locais onde não é possível contar com a rede da concessionária.

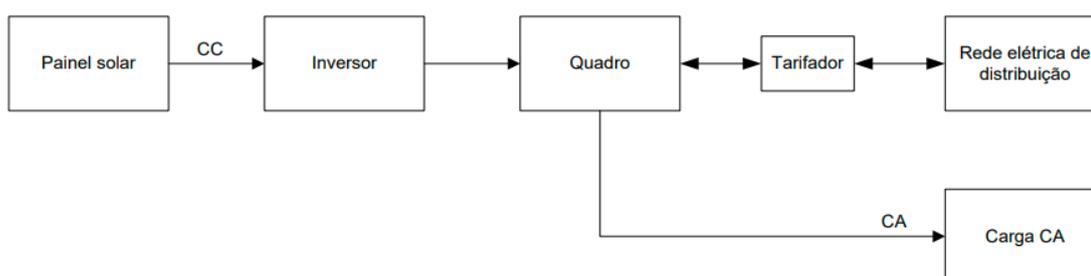
2.5 Sistema de geração fotovoltaico conectado à rede

Um sistema fotovoltaico conectado à rede é composto basicamente por 2 blocos, um bloco que gera a energia, composto pelos módulos solares, e outro bloco que converte essa energia gerada para uma energia com a mesma amplitude e frequência da rede no qual vai operar conectado composto pelos inversores (CRESESB, 2014).

O funcionamento de um sistema solar conectado à rede é bastante simples, primeiramente os módulos expostos diretamente ao sol recebem a radiação solar e a transforma em energia elétrica com corrente contínua, esta energia é direcionada ao inversor através de cabos, o inversor faz o trabalho de converter a energia de corrente contínua em corrente alternada compatível com a rede, essa energia é injetada diretamente no quadro de distribuição da instalação, onde parte dela é utilizada instantaneamente pelas cargas conectadas ao quadro, e a parte excedente é injetada na rede da concessionária através de um medidor/tarifador bidirecional.

O diagrama da figura 3 mostra de maneira simplificada o funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

Figura 3: Diagrama representativo de um sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: Aramizu, 2010

De acordo com a Resolução Normativa ANEEL n° 482/2012 que normatiza a geração distribuída no Brasil, o consumidor que optar por implantar um sistema de geração conectado à rede, deverá injetar o excedente gerado diretamente na rede da concessionária local, onde será convertido em “credito de energia” e poderá ser

utilizado pelo consumidor em um prazo de até 60 meses, e não poderá em hipótese alguma ser convertido em dinheiro (ANEEL, 2012).

2.6 Componentes básicos do sistema de geração fotovoltaico

Os componentes básicos de um sistema fotovoltaico conectado a rede são: os módulos fotovoltaicos e os inversores, também se utiliza alguns outros componentes na montagem do sistema como cabeamentos, conectores, estruturas de fixação e em alguns casos *string-box* CC e CA.

2.6.1 Módulos fotovoltaicos

Também chamados de placas solares ou painéis fotovoltaicos, os módulos fotovoltaicos é uma parte comum a todos os tipos de sistemas de geração fotovoltaica, seja ele conectado ou não a rede. São responsáveis por fazer a conversão direta da energia proveniente da radiação solar e corrente elétrica contínua.

As células fotovoltaicas são a unidade básica de um módulo fotovoltaico, produzidas a partir de semicondutores estas células utilizam do efeito fotoelétrico, observado pela primeira vez por Heinrich Hertz em 1887, para produzir uma corrente elétrica (SOARES, 2014). A intensidade da corrente elétrica, a DDP gerada e a eficiência de uma célula fotovoltaica depende diretamente do material da qual é produzida. Na tabela 2 podemos ver a eficiência de alguns tipos de células fotovoltaicas (CRESESB, 2014).

As células produzidas a partir do silício são as mais utilizadas pela sua boa eficiência e por se tratar de um componente encontrado em abundancia no nosso planeta.

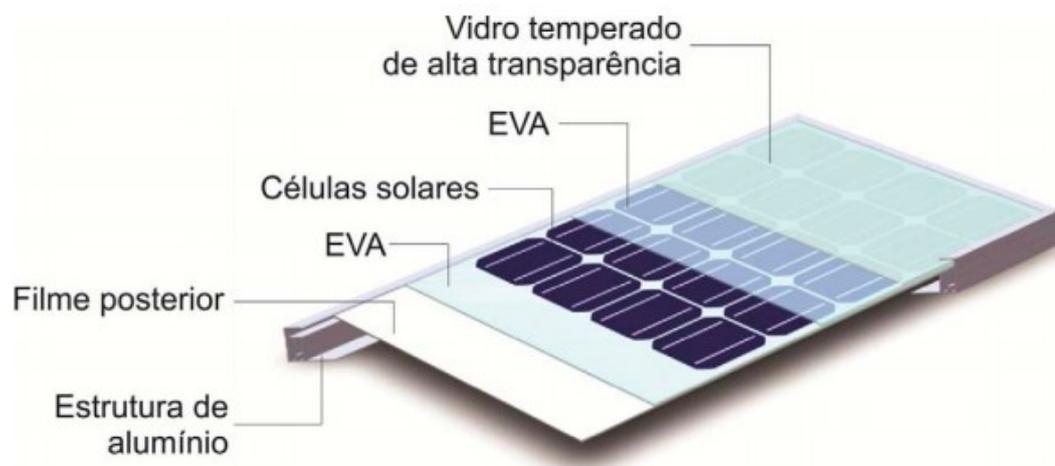
Tabela 2: Eficiência de células fotovoltaicas

Tecnologia		Eficiência (%)
Silício	Monocristalino	25,0 ± 0,5
	Policristalino	20,4 ± 0,5
	Filmes finos transferidos ⁴	20,1 ± 0,4
Compostos III A-VA (ou 13-15)	GaAs (filme fino)	28,8 ± 0,9
	GaAs (policristalino)	18,4 ± 0,5
	InP (monocristalino)	22,1 ± 0,7
Calcogênios Compostos II B-VI A (ou 12-16)	CIGS (CuIn _x Ga _(1-x) Se ₂) (filme fino)	19,6 ± 0,6
	CdTe (filme fino)	18,3 ± 0,5
Silício amorfo / nanocristalino	Amorfo (a-Si) (filme fino)	10,1 ± 0,3
	Nanocristalino (nc-Si)	10,1 ± 0,2
Células Sensibilizadas por Corantes (DSSC)		11,9 ± 0,4
Células Orgânicas (filme fino)		10,7 ± 0,3
Multijunção	InGaP/GaAs/InGaAs	37,7 ± 1,2
	a-Si/nc-Si/nc-Si (filme fino)	13,4 ± 0,4

Fonte: GREEN, 2013

Os módulos fotovoltaicos são construídos conectando várias células fotovoltaicas para se obter uma tensão e corrente que sejam suficientes para uma utilização prática. As células de silício normalmente tem uma DDP da ordem de 0,5 a 0,8V e são conectadas em série para se obter uma tensão maior (CRESESB, 2014). É importante ressaltar também que essas células sozinhas são frágeis e para que possam ser utilizadas expostas as condições temporais, é adicionada uma estrutura mecânica na montagem dos módulos fotovoltaicos, geralmente constituída de alumínio, vidro e polímeros. A figura 4 mostra um esquema simplificado dos componentes de um módulo fotovoltaico de silício cristalino.

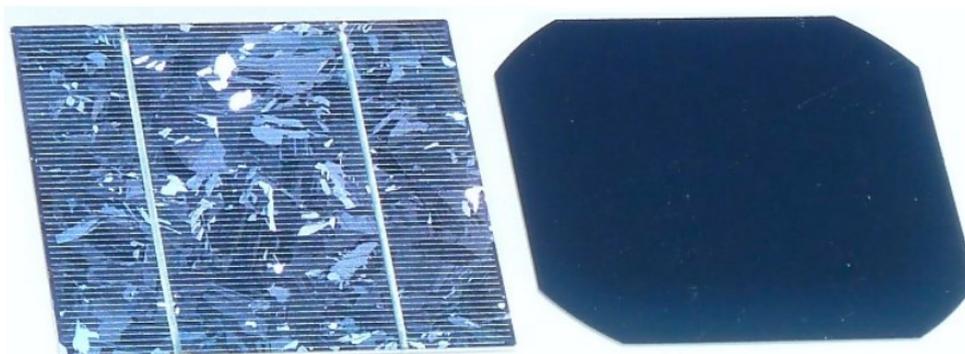
Figura 4: Componentes de um módulo fotovoltaico



Fonte: CRESESB, 2014

Os módulos fotovoltaicos produzidos a partir de células de silício monocristalinas e policristalinas são os dois tipos de módulos mais utilizados mundialmente, por se tratar de um material barato e de fácil manipulação, bem como muito abundante na natureza. A diferença desses dois módulos está na forma como as células são fabricadas, sendo que a monocristalina tem uma fabricação mais cara e oferece uma eficiência maior, enquanto a policristalina tem uma eficiência um pouco menor e um processo de fabricação de menor custo. A figura 5 mostra duas células fotovoltaicas feitas de silício, uma policristalina a esquerda e uma monocristalina a direita.

Figura 5: Células fotovoltaicas de silício



Fonte: AFEWORK, 2018

É primordial conhecer o módulo fotovoltaico antes de utiliza-lo em um projeto. O manual do fabricante mostra características técnicas importantes sobre o módulo que devem ser consideradas na hora de se fazer um projeto utilizando o mesmo. A tabela 3 extraída do manual de um fabricante (anexo A) mostra as principais características elétricas deste módulo em questão.

Tabela 3: Características elétricas dos módulos fotovoltaicos modelo P6C-36

STC								
Módulo	BYD							
Item	310 P6C-36	315 P6C-36	320 P6C-36	325 P6C-36	330 P6C-36	335 P6C-36	340 P6C-36	
Voltagem de circuito aberto (Voc)	45.79V	46.09V	46.39 V	46.69 V	46.98 V	47.28 V	47.58 V	
Voltagem máxima de operação (Vmp)	36.38 V	36.58 V	36.78 V	36.98 V	37.16 V	37.35 V	37.53 V	
Corrente de curto-circuito (Isc)	8.99A	9.07A	9.15A	9.23 A	9.31 A	9.39 A	9.47 A	
Corrente máxima de operação (Imp)	8.52A	8.61 A	8.70 A	8.79 A	8.88 A	8.97 A	9.06 A	
Potência máxima em STC (Pmax)	310 Wp	315 Wp	320 Wp	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp	
Eficiência do módulo	15.6 %	16.2 %	16.4 %	16.7%	17.0%	17.2%	17.5%	
Temperatura de funcionamento	-40°C~85°C							
Corrente nominal máxima do fusível	15A							
Voltagem máxima do sistema	1000 VDC							
Tolerância da potência	0~5W							
Classes de aplicação	Class A							

STC: IRRADIÂNCIA 1000W/m², Temperatura do módulo 25 °C, AM=1.5 Ave. redução de eficiência de 4.5% por 200W/m²

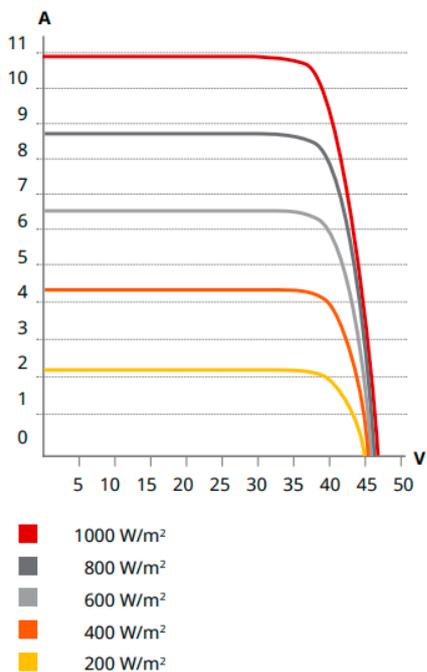
NOCT								
Módulo	BYD							
Item	310P6C-36	315P6C-36	320P6C-36	325P6C-36	330P6C-36	335P6C-36	340P6C-36	
Voltagem de circuito aberto (Voc)	42.20 V	42.50 V	42.80 V	43.10 V	43.40 V	43.70 V	43.90 V	
Voltagem máxima de funcionamento (Vmp)	33.80 V	34.00 V	34.30 V	34.50 V	34.80 V	35.10 V	35.30 V	
Corrente de curto-circuito (Isc)	7.29 A	7.36 A	7.42 A	7.49 A	7.54 A	7.60 A	7.66 A	
Corrente máxima de funcionamento (Imp)	6.77 A	6.83 A	6.90 A	6.96 A	7.01 A	7.08 A	7.14 A	
Potência máxima em NOCT (Pmax)	228.80 Wp	232.60 Wp	236.4 Wp	240.4 Wp	244.2 Wp	248.1 Wp	251.9 Wp	

NOCT: temperatura de funcionamento do módulo de circuito-aberto em 800W/m² irradiação, temperatura ambiente 20°C, velocidade do vento 1m/s.

Fonte: BYD, 2017

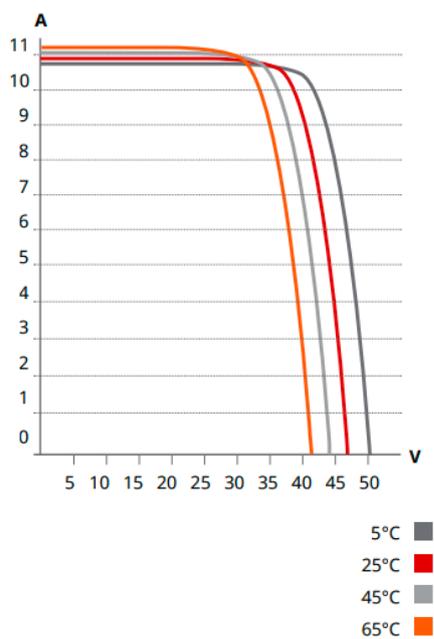
Os gráficos 3 e 4 retirados do manual de um fabricante (Anexo B) mostram as curvas características de funcionamento de um modelo de módulo, fornecendo os dados de tensão e corrente para diversas faixas de funcionamento do módulo e para diversas faixas de temperaturas.

Gráfico 3: I x V por faixas de potência do módulo CS3W-400PB-AG



Fonte: Canadian, 2019

Gráfico 4: I x V por faixa de temperatura do módulo CS3W-400PB-AG



Fonte: Canadian, 2019

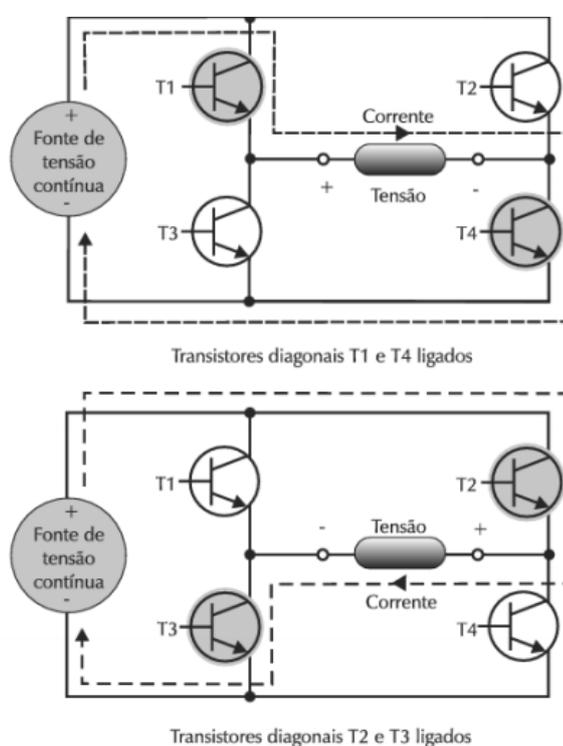
Dentre as características extraídas dos manuais dos fabricantes, algumas são de extrema importância na hora de se fazer um projeto de um sistema de geração fotovoltaica, como potência máxima do módulo (P_{max}), eficiência, temperatura de operação, voltagem máxima de operação (V_{mp}), voltagem de circuito aberto (V_{oc}), corrente máxima de operação (I_{mp}) e corrente de curto circuito (I_{sc}). Todas essas características devem ser extraídas diretamente do manual do fabricante do módulo a ser usado no projeto.

2.6.2 Inversores

Os inversores são responsáveis por converter a corrente CC proveniente dos módulos fotovoltaicos, em corrente CA compatível com a rede e com os eletrodomésticos conectados nela.

O princípio básico de funcionamento de um inversor pode ser ilustrado pela figura 6, que mostra um esquema simplificado de um inversor.

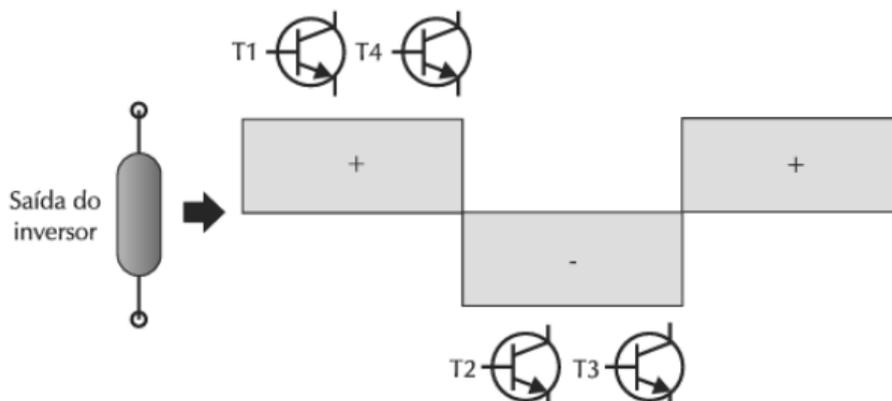
Figura 6: esquema básico de funcionamento de um inversor



Fonte: Villalva, 2012

O inversor exemplificado na figura 6, é o tipo mais simples de inversor que se pode construir, este tipo de inversor gera uma onda alternada quadrada, que pode ser vista na figura 7.

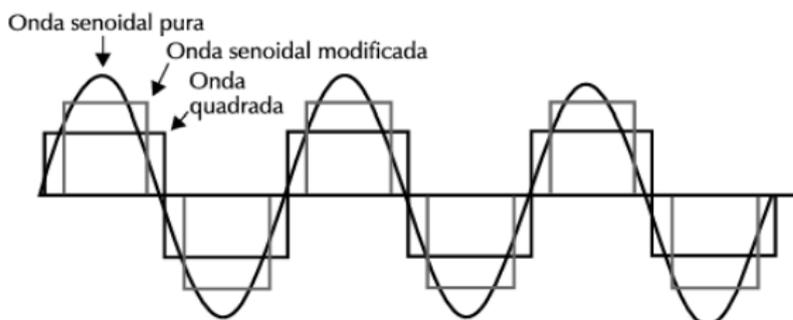
Figura 7: Onda alternada produzida por um inversor simples



Fonte: Villalva, 2012

Os inversores podem ser classificados de acordo com o tipo de onda que eles geram, que pode ser uma onda quadrada, como a apresentada na figura 5, uma onda senoidal modificada, ou uma onda senoidal pura. Quanto mais parecida com a onda gerada pela concessionária, melhor será o inversor, sendo o inversor de onda senoidal pura o que consegue reproduzir quase que com perfeição a onda gerada pela concessionária. Na figura 8 podemos ver a comparação entre esses 3 tipos de sinal de saída gerados pelos inversores.

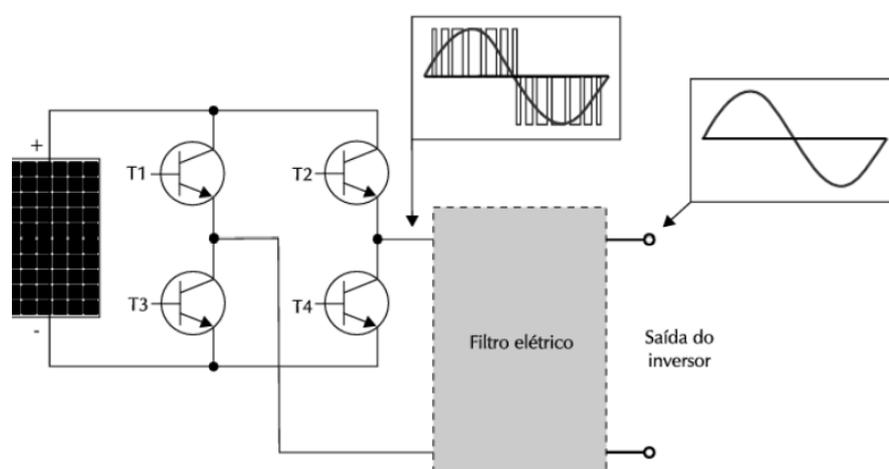
Figura 8: tipos de sinal gerados pelos inversores



Fonte: Villalva, 2012

Os inversores de onda senoidal utilizam um tipo de modulação chamada PWM (Pulse Width modulation), que produz uma onda com vários pulsos de diferentes larguras, e que após passar por uma filtragem o resultado final é uma onda senoidal quase perfeita (VILLALVA, 2012). Na figura 9 podemos ver a ilustração de um inversor que utiliza PWM.

Figura 9: Funcionamento de um inversor PWM de onda senoidal



Fonte: Villalva, 2012

Os inversores utilizados nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, além de transformar a corrente CC em corrente CA, desempenha diversas outras funções como a medição dos parâmetros da rede, a conexão e desconexão automática à rede, e contam com diversos dispositivos internos de segurança e proteção contra elevadas tensões ou correntes, contra curto circuito, dentre outras. As figuras 8 e 9 mostram 2 exemplos de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Dois tipos de inversores são utilizados atualmente em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, os microinversores (figura 10), e os inversores string (figura 11).

Figura 10: Microinversor



Fonte: APsystems, 2021

Figura 11: Inversor string



Fonte: Fronius, 2021

Ambos os inversores funcionam de maneira similar, as principais diferenças entre eles é que o microinversor tem uma potência reduzida, geralmente entre 600 e 1200w, com isso um tamanho reduzido, o que permite que ele seja instalado diretamente no telhado da edificação junto aos módulos fotovoltaicos. O inversor string por sua vez tem uma potência maior chegando a dezenas de Kw, conseqüentemente um tamanho e peso maior, o que necessita de um local de instalação adequado.

2.6.3 String Box CC

A String Box CC se trata de uma caixa composta por componentes de de proteção e manobra CC, como DPS, Fusível e chave seccionadora, que faz a ligação entre os módulos fotovoltaicos e o inversor. Este componente não está presente em todas as instalações, tendo em vista que alguns inversores já contam com todos os componentes de proteção internos em sua construção, dispensando assim o uso da String Box. A figura 12 mostra uma String box CC.

Figura 12: String Box CC



Fonte: ABB, 2021

2.7 ROI – Retorno Sobre Investimento

O ROI, sigla que vem do inglês *Return Over Investment*, é uma métrica financeira que relaciona o dinheiro obtido com o dinheiro aplicado em um investimento qualquer (CORDEIRO, 2020). O Retorno Sobre Investimento (ROI), é uma métrica bastante utilizada no mundo dos negócios para medir basicamente o quanto um investimento fornece de retorno em relação ao valor que foi investido nele.

$$ROI = \frac{Receita - Custo}{Custo} \quad (1)$$

A equação (1) é utilizada para calcular o ROI, onde Receita é tudo aquilo que que foi obtido utilizando o investimento em questão, e Custo é tudo aquilo que foi gasto no investimento. Um ROI com valor negativo significa que o investimento gerou mais gastos do que retorno, e um ROI positivo quer dizer que o investimento gerou um retorno maior que os gastos.

3 METODOLOGIA

Foi feito um levantamento com vários fornecedores para se estabelecer um preço médio por Kwp instalado na região. Pós estabelecidos os custos iniciais de implantação, foi estabelecido um custo anual de manutenção do sistema.

Com todos os custos expostos, partiu-se para o estabelecimento da economia gerada, para tal foi consultado no site da concessionária local (CEMIG) o valor do kw atualizado, e também foi aplicado os impostos incidentes, assim como vem na conta de energia, com isso chegou-se a um valor atualizado do preço médio por Kw. Para fazer uma previsão do valor do Kwh futuros, foi utilizado um valor de correção anual, aplicado aos 25 anos, chegando-se assim a uma tabela com valores de energia supondo os gastos com energia ao longo dos próximos 25 anos, sem a utilização do sistema fotovoltaico.

Com todos os valores expostos, foi apresentada uma tabela comparando esses valores acumulados nos 25 anos e aplicando o indicador de desempenho financeiro ROI -*Return Over Investment* -, mostrando o retorno do sistema dentro do tempo proposto.

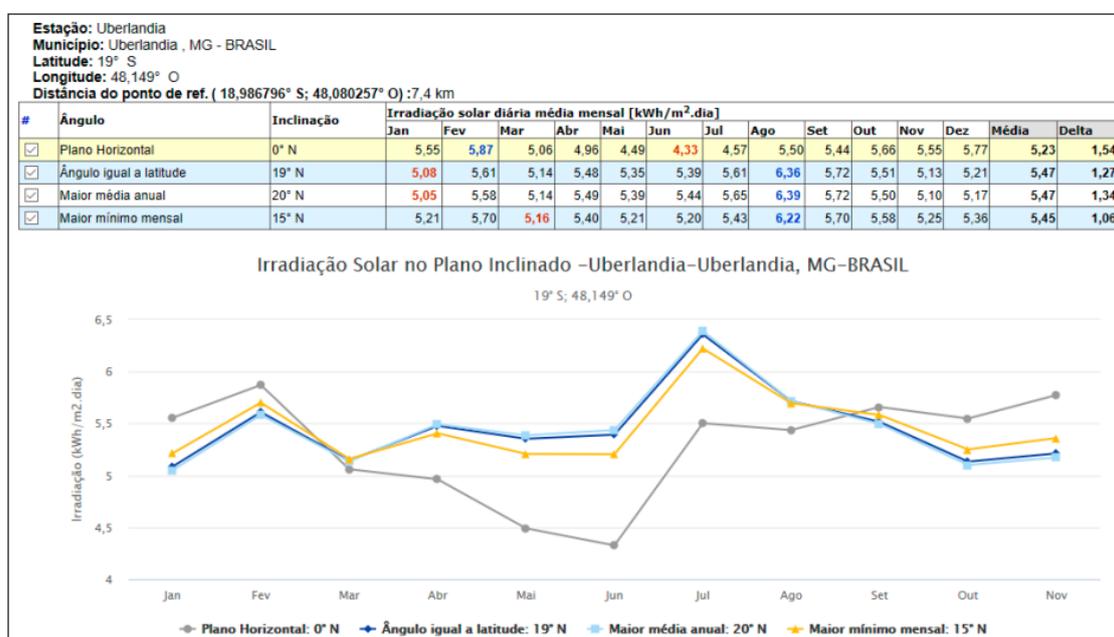
4 DIMENSIONAMENTO

Para realização do dimensionamento do sistema a ser discutido, iremos partir dos seguintes pressupostos:

- O consumo médio mensal a ser considerado é de 1000Kwh (já descontando o custo de disponibilidade);
- A localidade de instalação será na cidade de Uberlândia-MG;
- O local de instalação não sofre influência de sombreamento;
- O local de instalação tem espaço adequado o suficiente para acomodar o sistema;

A figura 13 mostra a irradiação solar diária média por mês na cidade de Uberlândia-MG.

Figura 13: Irradiação solar diária média mensal em Uberlândia-MG



Fonte: Cresesb, 2021

Os valores de irradiação média mostrados na imagem referem-se ao valor irradiado durante um dia em uma área de 1m² na localidade de Uberlândia- MG. A

média que iremos utilizar será a média anual, que é uma média entre todos os meses do ano.

Para dimensionar o sistema, iremos utilizar o ângulo de melhor aproveitamento da irradiação solar para esta localidade que é de 19°. Multiplicando então o valor de radiação média diária por 365 dias, e dividindo por 12 meses, teremos o valor de irradiação média mensal.

$$\text{Irradiação média mensal} = \frac{5,47 \times 365}{12} = 166,38 \left[\frac{\text{Kwh}}{\text{m}^2} \cdot \text{mês} \right]$$

Para dimensionar a potência de pico necessária do sistema, iremos utilizar a equação (2) (Kikumoto, 2019):

$$\text{Potência do sistema} = \frac{\text{Geração necessária}}{(\text{Irradiação} \times (1 - \text{Perdas}))} \quad (2)$$

Onde:

Potência do sistema: É a potência CC do sistema fotovoltaico expressa em Kwp

Geração necessária: É a quantidade de energia que precisa ser gerada mensalmente para suprir o consumo médio mensal.

Irradiância: Valor médio da energia solar disponível mensalmente no local expresso em Kwh/m²

Perdas: É a soma das perdas envolvidas no sistema (perdas térmicas, perdas de eficiência do inversor, perdas no cabeamento, etc).

Aplicando na equação (2) o valor de irradiação mensal obtido anteriormente de 166,38 [Kwh/m².mês], a geração necessária pré-estabelecia de 1000Kwh/mês e as perdas do sistema de 15% como estabelece Kikumoto em 2019, podemos obter o valor da potência do sistema.

$$\text{Potência do sistema} = \frac{1000}{(166,38 \times (1 - 0,15))} = 7,07\text{Kwp}$$

5 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Este tópico tem por objetivo mostrar o levantamento de custos de implantação e manutenção do sistema, bem como os retornos financeiros obtidos a curto e longo prazo.

5.1 Custos de implantação do sistema

Para determinação de um custo de implantação do sistema, foi solicitado um orçamento para 8 diferentes empresas da região, onde cada empresa enviou uma proposta, foram extraídos apenas os dados mais relevantes de cada proposta, como potência do sistema proposto, número de módulos fotovoltaicos, potência dos módulos, potência do inversor, valor total do sistema e tempo de execução. Esses dados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Orçamentos para implantação de sistema fotovoltaico

Empresa	Potência total do sistema	Nº de módulos	Potência de cada módulo	Potência do inversor	Valor total da proposta	Tempo de execução
Empresa 1	11,73Kwp	34	345w	9,0Kw	R\$ 50.800,00	90 dias
Empresa 2	16,56Kwp	48	345w	12,0Kw	R\$ 61.900,00	90 dias
Empresa 3	8,96Kwp	28	320w	Não informado	R\$ 53.000,00	Não informado
Empresa 4	7,81Kwp	22	355w	6,0Kw	R\$ 31.600,00	40 dias
Empresa 5	8,04Kwp	24	335w	8,0Kw	R\$ 30.000,00	60 dias
Empresa 6	9,60Kwp	24	400w	7,5Kw	R\$ 37.160,45	90 dias
Empresa 7	7,70Kwp	22	350w	6,7Kwp	R\$ 34.800,00	40 dias
Empresa 8	8,00Kwp	20	400w	6,5Kw	R\$ 33.000,00	90 dias

A proposta de cada empresa tem diferentes números de módulos, com diferentes potências, resultando em propostas com valores distintos de potência total do sistema. Para fazer uma comparação de preços entre elas, será feito o cálculo do preço por potência a ser instaladas. Dividindo-se o valor da proposta pela potência do sistema proposto e ordenando as propostas de acordo com o preço potência a ser instalada temos a tabela 5.

Tabela 5: Valor das propostas por potência a ser instalada

Empresa	Potência total do sistema	Valor total da proposta	Valor por potência instalada
Empresa 5	8,04Kwp	R\$ 30.000,00	R\$ 3,73
Empresa 2	16,56Kwp	R\$ 61.900,00	R\$ 3,74
Empresa 6	9,60Kwp	R\$ 37.160,45	R\$ 3,87
Empresa 4	7,81Kwp	R\$ 31.600,00	R\$ 4,05
Empresa 8	8,00Kwp	R\$ 33.000,00	R\$ 4,13
Empresa 1	11,73Kwp	R\$ 50.800,00	R\$ 4,33
Empresa 7	7,70Kwp	R\$ 34.800,00	R\$ 4,52
Empresa 3	8,96Kwp	R\$ 53.000,00	R\$ 5,92

Por último para se obter um valor médio do preço regional para instalação de sistemas fotovoltaicos, foram removidos o menor e o maior valor e feita a média simples entre os valores das 6 empresas restantes.

$$\text{Preço médio} = \frac{3,74 + 3,87 + 4,05 + 4,13 + 4,33 + 4,52}{6} = R\$4,11$$

Com isso obtemos o preço médio de R\$4,11 por cada watt de potência do sistema solar a ser instalado. Utilizando o valor de potência do sistema previamente calculado de 7,07Kwp podemos chegar a um valor médio para se implantar um sistema fotovoltaico com capacidade para gerar 1000Kwh por mês na cidade de Uberlândia.

$$\text{Valor do sistema} = 7070 \times 4,11 = R\$29.057,70$$

5.2 Estimando gastos com manutenção do sistema

A manutenção dos sistemas fotovoltaicos é relativamente simples e barata, porém muito importante pois o acúmulo elevado de poeira sobre os módulos por falta de manutenção pode gerar a uma perda relativa da capacidade de geração de até 10% (CRESESB, 2014).

Dois tipos de manutenção preventiva devem ser realizados para manter o sistema em bom funcionamento, o primeiro deles se trata de uma visita de um

profissional para averiguar os cabos, conexões, estruturas de fixação e fazer uma inspeção visual nos módulos para verificar se não houve nenhum dano físico. O profissional deve ainda fazer uma série de medições para verificar se as medidas de tensão e corrente do sistema estão de acordo com o esperado.

Outro tipo de manutenção necessária é a limpeza física dos painéis, que pode ser feita pelo próprio usuário do sistema, ou contratando um prestador de serviços na área de limpeza, segundo o Portal Solar essa limpeza pode ser feita anualmente, e na maioria das localidades a própria água proveniente da chuva juntamente com a inclinação do telhado já é o suficiente para deixar os painéis sempre limpos.

De acordo com alguns profissionais consultados, o custo de uma visita do profissional para inspeções da instalação, sem a necessidade de reparos fica entre R\$150 e R\$250.

Para estabelecer um valor para manutenção anual do sistema, foi desconsiderado o gasto com a limpeza das placas, já que o próprio usuário pode fazer isso, foi considerada 1 visita de um profissional ao ano com o valor médio atual de R\$200,00. Sendo assim o gasto com a manutenção preventiva do sistema é de R\$200,00 ao ano a partir do segundo ano.

5.3 Estimando a energia gerada pelo sistema

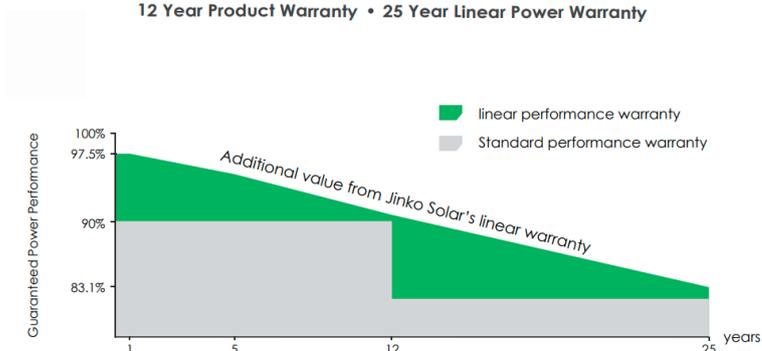
Ao longo dos anos de utilização, os módulos fotovoltaicos tendem a perder parte da sua eficiência de geração. A perda média anual de um módulo fotovoltaico é de 0,7% ao ano (ELYSIA, 2017).

Através de uma pesquisa feita pelo autor, constatou-se que todos os 5 fabricantes de módulos fotovoltaicos consultados oferecem uma garantia linear de no mínimo 25 anos de geração contínua sobre seus módulos, alguns fabricantes oferecem a garantia de até 30 anos, garantindo que o módulo perderá no máximo 20% da sua eficiência ao longo desses anos. Com base nisso foi utilizado nesse trabalho um tempo base de 25 anos para os cálculos de geração, consumo e retorno financeiro do sistema. O gráfico 5 retirado do datasheet do fabricante (Anexo C), mostra a curva da garantia linear de um fabricante.

Gráfico 5: Garantia linear de performance

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



Fonte: Jinko, 2020

Utilizando a garantia fornecida pelo fabricante, de perda máxima de 20% em 25 anos, foi feita uma estimativa de perda linear anual máxima ao longo de 25 anos, dividindo a perda total máxima de 20% pelos 25 anos de uso.

$$Perda\ anual = \frac{20}{25} = 0,8\%$$

Considerando essa perda anual calculada, foi feita a tabela 6 mostrando a eficiência do módulo em cada ano, a estimativa de geração do sistema e a energia gerada acumulada ao longo dos próximos 25 anos.

Tabela 6: estimativa de energia gerada e acumulada

Ano	Eficiência do módulo	Energia gerada	Energia acumulada
2021	100,0%	12000,00Kwh	12000,00Kwh
2022	99,2%	11904,00Kwh	23904,00Kwh
2023	98,4%	11808,00Kwh	35712,00Kwh
2024	97,6%	11712,00Kwh	47424,00Kwh
2025	96,8%	11616,00Kwh	59040,00Kwh
2026	96,0%	11520,00Kwh	70560,00Kwh
2027	95,2%	11424,00Kwh	81984,00Kwh
2028	94,4%	11328,00Kwh	93312,00Kwh
2029	93,6%	11232,00Kwh	104544,00Kwh
2030	92,8%	11136,00Kwh	115680,00Kwh
2031	92,0%	11040,00Kwh	126720,00Kwh
2032	91,2%	10944,00Kwh	137664,00Kwh
2033	90,4%	10848,00Kwh	148512,00Kwh
2034	89,6%	10752,00Kwh	159264,00Kwh
2035	88,8%	10656,00Kwh	169920,00Kwh
2036	88,0%	10560,00Kwh	180480,00Kwh
2037	87,2%	10464,00Kwh	190944,00Kwh
2038	86,4%	10368,00Kwh	201312,00Kwh
2039	85,6%	10272,00Kwh	211584,00Kwh
2040	84,8%	10176,00Kwh	221760,00Kwh
2041	84,0%	10080,00Kwh	231840,00Kwh
2042	83,2%	9984,00Kwh	241824,00Kwh
2043	82,4%	9888,00Kwh	251712,00Kwh
2044	81,6%	9792,00Kwh	261504,00Kwh
2045	80,8%	9696,00Kwh	271200,00Kwh

5.4 Custo da energia vendida pela concessionária

Para se obter o valor atual da energia cobrado pela concessionária, foi consultado uma tabela disponibilizada no site da concessionária CEMIG, que demonstra os valores cobrados por Kwh para o grupo consumidor B2 (consumo residencial em baixa tensão) não incluindo os impostos.

Tabela 7. Valor tarifário CEMIG Classe B1

B1- RESIDENCIAL NORMAL	BANDEIRA VERDE - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA AMARELA - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 1 - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 2 - CONSUMO R\$/KWH
Residencial Normal (Consumo R\$/kWh)	0,61805	0,63148	0,65974	0,68048

Fonte: CEMIG, 2021

A tabela 7 mostra 4 valores para diferentes bandeiras tarifárias, que variam ao longo do ano de acordo com os níveis de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas. Para se chegar a um valor único foi feita uma média simples entre os 4 valores fornecidos pela tabela, chegando-se a um valor médio cobrado por Kwh sem impostos.

$$\text{Preço médio por Kwh} = \frac{0,61805 + 0,63148 + 0,65974 + 0,86048}{4} = 0,69255$$

O valor atual pago pelos consumidores não é o valor estabelecido na tabela 7, pois em cima desse valor incide alguns impostos. Os valores dos impostos que incidem sobre a conta de energia elétrica são demonstrados na tabela 8.

Tabela 8: Impostos incidentes

Imposto	Aliquota
ICMS	25,0%
PASEP	1,16%
COFINS	5,33%

Fonte: CEMIG, 2021

Aplicando os impostos incidentes teremos o valor real pago por cada Kwh consumido.

$$\text{Valor do Kwh com impostos} = \frac{0,69255}{(1 - 0,25 - 0,0116 - 0,0533)} = R\$1,01$$

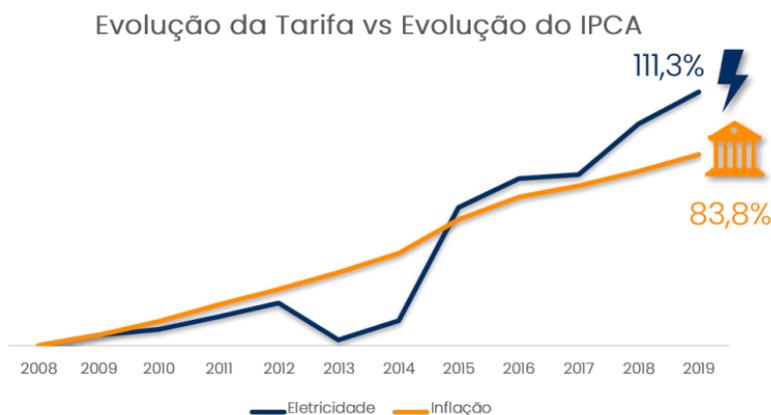
Multiplicando esse valor pelo consumo de 1000Kwh previamente estabelecido tem-se o valor a ser pago pelo consumidor. Esse valor não inclui o valor de custeio da iluminação pública, valor esse cobrado pelo município que é pago juntamente a conta de energia.

$$\text{Valor a ser pago} = 1000 \times 1,01 = R\$1010,00$$

De acordo com a ANEEL, todos os anos existe um reajuste na tarifa de energia, esse reajuste varia a cada ano. E além de o reajuste na tarifa, existe também um reajuste nos impostos incidentes sobre a conta de energia.

Segundo índices divulgados pela ANEEL e pelo Portal Brasil, entre 2008 e 2019 a tarifa da energia no Brasil subiu 111,3%, um aumento médio de mais de 10% ao ano. O gráfico 6 mostra uma comparação do aumento da tarifa de energia com o IPCA.

Gráfico 6: Evolução da tarifa vs evolução do IPCA



Fonte: ANEEL e Portal Brasil

Com base nos dados expostos anteriormente, para obter uma previsão do valor da tarifa de energia elétrica corrigida pelos próximos 25 anos, foi estimado um valor de correção de 10% ao ano no valor da tarifa. Com isso foi feita a tabela 9 que mostra a previsão do valor mensal da energia corrigido a cada ano pelos próximos 25 anos.

Tabela 9: Valor da energia com correção anual

Ano	Valor por Kwh		valor a ser pago	
2021	R\$	1,01	R\$	1.010,00
2022	R\$	1,11	R\$	1.111,00
2023	R\$	1,22	R\$	1.222,10
2024	R\$	1,34	R\$	1.344,31
2025	R\$	1,48	R\$	1.478,74
2026	R\$	1,63	R\$	1.626,62
2027	R\$	1,79	R\$	1.789,28
2028	R\$	1,97	R\$	1.968,20
2029	R\$	2,17	R\$	2.165,02
2030	R\$	2,38	R\$	2.381,53
2031	R\$	2,62	R\$	2.619,68
2032	R\$	2,88	R\$	2.881,65
2033	R\$	3,17	R\$	3.169,81
2034	R\$	3,49	R\$	3.486,79
2035	R\$	3,84	R\$	3.835,47
2036	R\$	4,22	R\$	4.219,02
2037	R\$	4,64	R\$	4.640,92
2038	R\$	5,11	R\$	5.105,01
2039	R\$	5,62	R\$	5.615,52
2040	R\$	6,18	R\$	6.177,07
2041	R\$	6,79	R\$	6.794,77
2042	R\$	7,47	R\$	7.474,25
2043	R\$	8,22	R\$	8.221,68
2044	R\$	9,04	R\$	9.043,85
2045	R\$	9,95	R\$	9.948,23

6 CALCULANDO O RETORNO FINANCEIRO

Para cálculo do retorno financeiro foi utilizado o indicador financeiro mais utilizado no mundo dos negócios, o ROI (Return Of Investment). A utilização desse indicador permite que se veja o quanto um investimento retornou em lucros em relação ao aporte inicial investido. Fazendo uma tabela com o ROI ano a ano, podemos ver a evolução desse retorno ao longo de 25 anos. Foi estabelecido o tempo de 25 anos para o cálculo do retorno com base na garantia de eficiência dos módulos fotovoltaicos, cujos fabricantes garantem uma eficiência de pelo menos 80% dentro de 25 anos.

A tabela 10 mostra os valores da energia gerada e acumulada a cada ano corrigidas pela redução da eficiência do sistema em cada respectivo ano, o valor economizado anualmente de acordo com o valor atualizado do preço da energia e descontando-se o valor anual de manutenção do sistema também corrigido ano a ano, o valor de economia acumulada ao longo dos anos e por fim o valor do ROI a cada ano pós implantação.

Tabela 10: Expectativa de retorno financeiro

Ano	Preço por Kwh	Energia gerada	Manutenção anual	Valor Anual Economizado	Valor da Economia acumulada	ROI
2021	R\$ 1,01	12000,00Kwh	R\$ -	R\$ 12.120,00	R\$ 12.120,00	-0,58
2022	R\$ 1,11	11904,00Kwh	R\$ 200,00	R\$ 13.025,34	R\$ 25.145,34	-0,13
2023	R\$ 1,22	11808,00Kwh	R\$ 220,00	R\$ 14.210,56	R\$ 39.355,90	0,35
2024	R\$ 1,34	11712,00Kwh	R\$ 242,00	R\$ 15.502,56	R\$ 54.858,46	0,89
2025	R\$ 1,48	11616,00Kwh	R\$ 266,20	R\$ 16.910,86	R\$ 71.769,31	1,47
2026	R\$ 1,63	11520,00Kwh	R\$ 292,82	R\$ 18.445,79	R\$ 90.215,10	2,10
2027	R\$ 1,79	11424,00Kwh	R\$ 322,10	R\$ 20.118,59	R\$ 110.333,69	2,80
2028	R\$ 1,97	11328,00Kwh	R\$ 354,31	R\$ 21.941,51	R\$ 132.275,20	3,55
2029	R\$ 2,17	11232,00Kwh	R\$ 389,74	R\$ 23.927,81	R\$ 156.203,01	4,38
2030	R\$ 2,38	11136,00Kwh	R\$ 428,72	R\$ 26.091,97	R\$ 182.294,98	5,27
2031	R\$ 2,62	11040,00Kwh	R\$ 471,59	R\$ 28.449,68	R\$ 210.744,66	6,25
2032	R\$ 2,88	10944,00Kwh	R\$ 518,75	R\$ 31.018,01	R\$ 241.762,67	7,32
2033	R\$ 3,17	10848,00Kwh	R\$ 570,62	R\$ 33.815,50	R\$ 275.578,17	8,48
2034	R\$ 3,49	10752,00Kwh	R\$ 627,69	R\$ 36.862,32	R\$ 312.440,49	9,75
2035	R\$ 3,84	10656,00Kwh	R\$ 690,45	R\$ 40.180,35	R\$ 352.620,84	11,14
2036	R\$ 4,22	10560,00Kwh	R\$ 759,50	R\$ 43.793,36	R\$ 396.414,20	12,64
2037	R\$ 4,64	10464,00Kwh	R\$ 835,45	R\$ 47.727,17	R\$ 444.141,37	14,28
2038	R\$ 5,11	10368,00Kwh	R\$ 918,99	R\$ 52.009,80	R\$ 496.151,17	16,07
2039	R\$ 5,62	10272,00Kwh	R\$ 1.010,89	R\$ 56.671,69	R\$ 552.822,86	18,03
2040	R\$ 6,18	10176,00Kwh	R\$ 1.111,98	R\$ 61.745,86	R\$ 614.568,72	20,15
2041	R\$ 6,79	10080,00Kwh	R\$ 1.223,18	R\$ 67.268,15	R\$ 681.836,87	22,46
2042	R\$ 7,47	9984,00Kwh	R\$ 1.345,50	R\$ 73.277,44	R\$ 755.114,31	24,99
2043	R\$ 8,22	9888,00Kwh	R\$ 1.480,05	R\$ 79.815,90	R\$ 834.930,21	27,73
2044	R\$ 9,04	9792,00Kwh	R\$ 1.628,05	R\$ 86.929,28	R\$ 921.859,49	30,73
2045	R\$ 9,95	9696,00Kwh	R\$ 1.790,86	R\$ 94.667,18	R\$ 1.016.526,66	33,98

Mesmo com o sistema de geração fotovoltaica suprindo 100% da necessidade energética de um estabelecimento, este ainda terá que pagar uma taxa mínima mensalmente para a concessionária, chamada de custo de disponibilidade do sistema elétrico. A tabela 11 mostra esse custo para os consumidores do grupo B estabelecido conforme art. 98. da resolução 414 da ANEEL. O valor do custo é o valor em moeda corrente referente a uma quantidade de Kwh no preço atualizado da concessionária local.

Tabela 11: Custo de disponibilidade

Tipo de ligação	N° de condutores	Custo de Disponibilidade
Monofásica	2(1F+N)	30Kwh
Bifásica(FF)	2(1F+1F)	30Kwh
Bifásica(FFN)	3(2F+N)	50Kwh
Trifásica	4(3F+N)	100Kwh

Fonte: ANEEL, 2021

Com o custo de disponibilidade, juntamente com o valor previsto pro Kwh, pode se prever o valor da conta de energia a ser paga mensalmente, a cada ano com o sistema implantado, e comparar com o valor sem o sistema implantado (o valor real da conta deverá incluir uma parcela de iluminação pública, cujo valor é determinado pelo município, e pago por todos os residentes, assim esse valor não foi considerado, já que seu valor não sofre influência do sistema de geração fotovoltaica). Para efeitos de cálculo, foi suposto um tipo de ligação Bifásica (FFN), que é o tipo de ligação mais comum na maioria das residências. A tabela 12 mostra os valores previstos para a conta de energia mensal a cada ano com e sem o sistema fotovoltaico.

O ROI foi calculado utilizando a equação (1), já mostrada anteriormente.

Tabela 12: Valores da conta mensal com e sem o sistema de geração fotovoltaica

Ano	Preço por Kwh	Valor da conta mensal sem o sistema	Valor da conta mensal com o sistema
2021	R\$ 1,01	R\$ 1.060,50	R\$ 50,50
2022	R\$ 1,11	R\$ 1.166,55	R\$ 55,55
2023	R\$ 1,22	R\$ 1.283,21	R\$ 61,11
2024	R\$ 1,34	R\$ 1.411,53	R\$ 67,22
2025	R\$ 1,48	R\$ 1.552,68	R\$ 73,94
2026	R\$ 1,63	R\$ 1.707,95	R\$ 81,33
2027	R\$ 1,79	R\$ 1.878,74	R\$ 89,46
2028	R\$ 1,97	R\$ 2.066,61	R\$ 98,41
2029	R\$ 2,17	R\$ 2.273,28	R\$ 108,25
2030	R\$ 2,38	R\$ 2.500,60	R\$ 119,08
2031	R\$ 2,62	R\$ 2.750,66	R\$ 130,98
2032	R\$ 2,88	R\$ 3.025,73	R\$ 144,08
2033	R\$ 3,17	R\$ 3.328,30	R\$ 158,49
2034	R\$ 3,49	R\$ 3.661,13	R\$ 174,34
2035	R\$ 3,84	R\$ 4.027,25	R\$ 191,77
2036	R\$ 4,22	R\$ 4.429,97	R\$ 210,95
2037	R\$ 4,64	R\$ 4.872,97	R\$ 232,05
2038	R\$ 5,11	R\$ 5.360,27	R\$ 255,25
2039	R\$ 5,62	R\$ 5.896,29	R\$ 280,78
2040	R\$ 6,18	R\$ 6.485,92	R\$ 308,85
2041	R\$ 6,79	R\$ 7.134,51	R\$ 339,74
2042	R\$ 7,47	R\$ 7.847,97	R\$ 373,71
2043	R\$ 8,22	R\$ 8.632,76	R\$ 411,08
2044	R\$ 9,04	R\$ 9.496,04	R\$ 452,19
2045	R\$ 9,95	R\$ 10.445,64	R\$ 497,41

Outro dado interessante de mostrar é o tempo de retorno do investimento, chamado no inglês de *Payback*, que significa quanto tempo o retorno do investimento irá se igualar ao valor investido, esse tempo ocorre onde o ROI tem o valor exatamente igual a 'zero'. Sabendo através da tabela 12 que esse tempo ocorrera em algum momento no terceiro ano de uso do sistema, onde o ROI deixa de ser negativo. Para determinar exatamente em qual mês do ano o ROI deixa de ser negativo, foi feita a tabela 13 detalhando o ROI durante os meses do ano de 2023.

Tabela 13: ROI nos meses do ano de 2023

Mês	Preço por Kwh	Economia gerada	Economia acumulada	ROI
Janeiro	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 26.329,55	-0,094
Fevereiro	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 27.513,77	-0,053
Março	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 28.697,98	-0,012
Abril	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 29.882,19	0,028
Maiο	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 31.066,41	0,069
Junho	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 32.250,62	0,110
Julho	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 33.434,83	0,151
Agosto	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 34.619,04	0,191
Setembro	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 35.803,26	0,232
Outubro	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 36.987,47	0,273
Novembro	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 38.171,68	0,314
Dezembro	R\$ 1,22	R\$ 1.184,21	R\$ 39.355,90	0,354

Através da tabela 13 pode se ver claramente que o ROI passa a ser positivo a partir do mês de Abril, ou seja, considerando o início da operação do sistema em janeiro de 2021, exatamente em Abril de 2023, no 28º mês de operação o sistema já terá gerado uma economia de energia o suficiente para pagar o aporte inicial investido.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos dados apresentados durante o trabalho, mostra de maneira clara como é rentável a utilização de sistemas solares conectados a rede como forma de geração de energia distribuída para consumo próprio.

Com os cálculos chegou-se a um custo de implantação do sistema de R\$29.057,70, e uma manutenção inicial de R\$200 ao ano, sistema esse com capacidade para gerar 1000Kwh por mês.

Supondo o valor do ajuste anual da tarifa de energia de 10%, chegou-se a um espantoso valor de gasto com energia de mais de 1 milhão de reais acumulados em 25 anos, gasto esse que pode ser reduzido em mais de 95% com a utilização de um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede.

Com os cálculos foi possível constatar também o rápido retorno de um investimento em energia fotovoltaica, que com apenas 28 meses, através da economia gerada na conta de energia o sistema se paga, e que em 25 anos a economia de energia pode ser milionária.

Deve se refletir acerca da parcela de fontes fotovoltaicas na nossa matriz energética, que atualmente está abaixo de 2%, contra os mais de 25% das termelétricas por exemplo. A substituição de uma parcela dessas termelétricas por energia fotovoltaica, tornaria nossa matriz mais limpa e sustentável, além de contribuir para redução do valor da conta de energia para o consumidor final, isso sem contar na contribuição para manter os reservatórios das hidrelétricas, e evitar crises por conta de secas.

É de suma importância evidenciar o quanto é alto o valor pago pela energia elétrica no país, e como o sistema de geração distribuída pode colaborar para que um número cada vez maior de pessoas consigam gerar sua parcela de energia, contribuindo não só pra sua própria economia, mais pra que a matriz energética do país utilize cada vez mais fontes de energia limpas e de baixo impacto ambiental.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se iniciou o desenvolvimento deste trabalho, tinha-se como objetivo esclarecer as questões acerca dos valores envolvidos na implantação de um sistema de geração fotovoltaico conectado à rede, bem como constatar o retorno financeiro que este sistema pode gerar.

Conclui-se que este objetivo foi atingido com sucesso, e conseguiu-se mostrar da melhor maneira possível os gastos envolvidos tanto na implantação como na manutenção do sistema, bem como o retorno financeiro a ser obtido pela utilização desse sistema, e com a utilização de indicadores econômicos foi constatada a alta lucratividade a longo prazo proveniente da economia gerada pelo sistema estudado.

Espera-se que com os resultados obtidos nesse trabalho, outras pessoas possam entender de maneira melhor o funcionamento de um sistema fotovoltaico, e principalmente o valor do seu retorno financeiro. Contribuindo assim para disseminação do conhecimento para que cada vez mais pessoas possam fazer o uso desta tecnologia de geração de energia, de baixo impacto ambiental e alta rentabilidade.

A metodologia utilizada fazendo cálculos e estimativas com base em dados obtidos por pesquisas se mostrou muito eficiente e garantiu que os resultados fossem obtidos de maneira satisfatória, diante das limitações dos dados como presunção de valores de tarifas futuras.

Este trabalho limitou-se aos estudos dos custos envolvidos em um sistema fotovoltaico conectado à rede, sem considerar os custos de outros sistemas de geração de energia utilizados no país.

Espera-se que este trabalho sirva de referência para futuros trabalhos, que possam constatar os dados previstos neste, e demonstrar a assertividade das previsões descritas.

Recomenda-se como tema para trabalhos futuros a elaboração de um estudo comparando o tempo de retorno da implantação de uma usina fotovoltaica com uma usina hidrelétrica, bem como os diferentes impactos ambientais gerados por esses dois tipos diferentes de usinas presentes no Brasil.

A utilização de sistemas fotovoltaicos em residências e comércios ainda é algo relativamente recente no Brasil e ainda há muito a evoluir nos próximos anos, com sistemas cada dia mais eficientes e retornos cada vez maiores. Com isso espera-se ver cada vez mais desses sistemas a nossa volta e que cada vez mais pessoas conheçam e compreendam seu funcionamento.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR, **Geração distribuída fotovoltaica cresce 230% ao ano no Brasil**, 2020. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/geracao-distribuida-fotovoltaica-cresce-230-ao-ano-no-brasil/>>. Acesso em 2 jun. 2021.

ANEEL. **Relatório Evolução das Tarifas Residenciais**, 2021. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/relatorio-evolucao-tarifas-residenciais>>. Acesso em 11 jun. 2021.

ANEEL. **Ranking das tarifas**, 2021. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. Acesso em 11 jun. 2021.

ANEEL. **Geração distribuída**, 2021. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiazJmM4NjM0OWYtN2lwZS00YjViLTlIMjltN2E5MzBkN2ZIMzVklwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>>. Acesso em 11 jun. 2021.

ANEEL. **Matriz energética cresce 383,66 MW em março e 682,61 MW no primeiro trimestre de 2021**, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/21866628>. Acesso em 10 jun. 2021.

ARAMIZU, JULIANA. **Modelagem e Análise de desempenho de um sistema fotovoltaico em operação isolada e em paralelo com uma rede de distribuição de energia elétrica**, 2010. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-16112011-115318/?&lang=br>>. Acesso em 7 jun. 2021

CEMIG. **Valores de tarifas e serviços**, 2021. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Acesso em 10 jun. 2021.

CEMIG. **Entenda sua conta**, 2021. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/atendimento/entenda-sua-conta/>>. Acesso 10 jun. 2021.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Revisada e Atualizada**. ed. [S.l.]: [s.n.], 2014.

CRESESB. **SunData**, 2021. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 5 jun. 2021.

CORDEIRO, MARIANA. **O que é ROI? Descubra se seus investimentos estão valendo a pena calculando o Retorno Sobre o Investimento**, 2020. Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/roi/>>. Acesso em 11 jun. 2021.

ELYSIA, **Painel solar: qual é a durabilidade desse equipamento fotovoltaico?**, 2017. Disponível em: <<https://elysia.com.br/durabilidade-painel-solar/>>. Acesso em 12 jun 2021

G1. **Com crise hídrica, Aneel já estima alta de 5% nas contas de luz do ano que vem**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/06/15/com-crise-hidrica-aneel-ja-estima-alta-de-5percent-nas-contas-de-luz-do-ano-que-vem.ghtml>>. Acesso em 15 jun. 2021.

GONÇALVES, GUILHERME. **Uberlândia é a maior geradora de energia fotovoltaica do Brasil; veja vantagens do sistema**, 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/noticia/2020/09/20/uberlandia-e-a-maior-geradora-de-energia-fotovoltaica-do-brasil-veja-vantagens-do-sistema.ghtml>>. Acesso em 30 mai. 2021.

KIKUMOTO, BRUNO. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para o grupo A**, 2019. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos-para-o-grupo-a/>>. Acesso em 6 jun 2021.

SOARES, JOANA M. S. **Análise histórica do efeito fotoelétrico em livros didáticos de física do ensino médio**, 2014. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/5025/1/PDF%20-%20Joana%20Menara%20Souza%20Soares.pdf>>. Acesso em 11 jun 2021

SOLAR, PORTAL. **Tudo sobre a manutenção do painel solar**, 2017. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/tudo-sobre-a-manutencao-do-painel-solar.html>>. Acesso em 8 jun. 2021.

VILLALVA, M. G. **Energia solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações**. 2^a. ed. São Paulo: Érica, 2012.

ANEXO A – Datasheet módulo BYD

P6C-36-SERIES-4BB



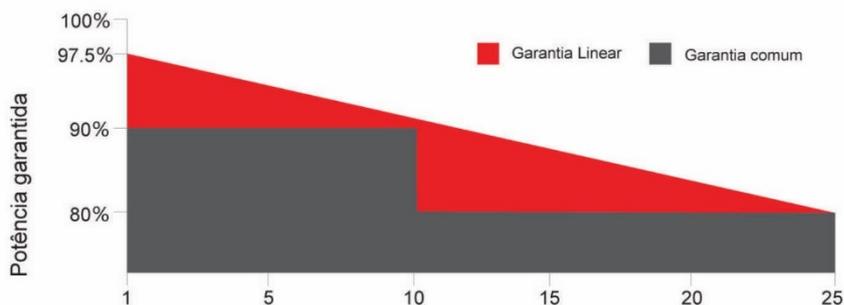
Build Your Dreams

156.75P



-  Eficiência celular média de até 18.3%
Excelente performance óptica
-  Tolerância positiva de 0~5W
Confiança no desempenho de saída
-  12 anos de Garantia para o produto
25 anos de Garantia Linear
-  Sistemas residenciais para telhados
Sistemas comerciais "on grid" e "off grid"
Sistemas utilitários "on grid" e "off grid"
-  TUV Class C fire class rating
TUV Salt corrosion resistance test
TUV 5400Pa for Snow Load Test
TUV 2400Pa for Wind Load Test
CSA Type 1 fire class rating
CSA Mechanical Load=1.5*3600Pa=5400Pa
-  IEC 61215(Edition 2005), IEC 61730

Garantia linear de 25 anos do módulo BYD

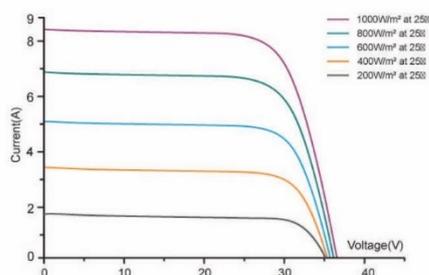
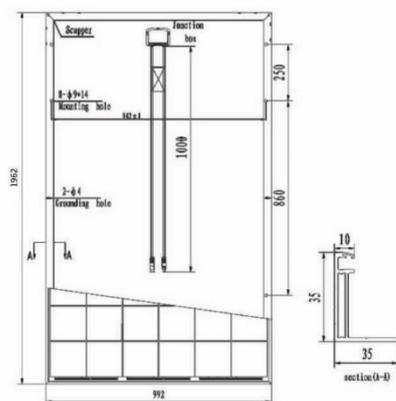


SOBRE BYD

Gigante global especializada em energia limpa, a BYD foi fundada em 1995 e rapidamente se tornou a maior fabricante mundial em baterias recarregáveis, sistemas estacionários e de painéis fotovoltaicos. Desde 2015, a BYD surpreendeu o mundo ao se consolidar como a maior fabricante mundial de automóveis elétricos (incluindo híbridos plug-in), caminhões e ônibus elétricos. A empresa está presente em cinco continentes, 50 países e 250 cidades e têm entre seus sócios o americano Warren Buffet. Com mais de 220 mil funcionários distribuídos em 30 fábricas ao redor do globo (sendo 20 mil engenheiros pesquisadores), a chinesa BYD é a segunda maior produtora de componentes para celulares, tablets e laptops no mundo e premiada globalmente como uma das empresas mais inovadoras do mundo. No Brasil, a BYD abriu sua primeira fábrica em Campinas, interior de São Paulo, em 2015, para produção de ônibus elétrico e comercialização de veículos e empilhadeiras. Em abril de 2017 a BYD Energy do Brasil inaugurou sua segunda unidade para produção de módulos fotovoltaicos para a geração de energia solar fotovoltaica.

P6C-36-SERIES-4BB

310-340W



156.75P

Ficha técnica

Célula	Células solares de silício policristalino 156.75 mm * 156.75 mm / 6,17 inch
Número de células	72 (6 * 12) unidades
Dimensão de módulos	1962 mm * 992 mm * 35 mm / 77.24 inch * 39.06 inch * 1.38 inch
Peso	22.1 kg / 48.62 lbs
Vidro frontal	Vidro de 3,2 mm temperado c/ revestimento de AR
Estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de junção	IP67
Conector	IP67
Diodos bypass	3 unidades
Tipo de conector	Mc4 ou MC4-compatível
Área de seção do cabo	4 mm² / 0.0062 Sq in
Comprimento do cabo	2 * 1200 mm / 2 * 47.2 inch

Coefficientes de temperatura

Temperatura nominal de funcionamento da célula (NOCT)	45°C ± 2°C
Coefficiente de temperatura de corrente de curto-circuito	0.07%/°C
Coefficiente de temperatura de voltagem de circuito aberto	-0.31%/°C
Coefficiente de temperatura de potência de pico	-0.39°C

Informações do produto

Contêiner	40' HC
Módulos / Palete	30
Paleta / Contêiner	22
Módulos / Contêiner	660

STC

Item	Módulo	BYD 310P6C-36	BYD 315P6C-36	BYD 320P6C-36	BYD 325P6C-36	BYD 330P6C-36	BYD 335P6C-36	BYD 340P6C-36
Voltagem de circuito aberto (Voc)		45.79V	46.09V	46.39 V	46.69 V	46.98 V	47.28 V	47.58 V
Voltagem máxima de operação (Vmp)		36.38 V	36.58 V	36.78 V	36.98 V	37.16 V	37.35 V	37.53 V
Corrente de curto-circuito (Isc)		8.99A	9.07A	9.15 A	9.23 A	9.31 A	9.39 A	9.47 A
Corrente máxima de operação (Imp)		8.52A	8.61A	8.70 A	8.79 A	8.88 A	8.97 A	9.06 A
Potência máxima em STC (Pmax)		310 Wp	315 Wp	320 Wp	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp
Eficiência do módulo		15.6 %	16.2 %	16.4 %	16.7%	17.0%	17.2%	17.5%
Temperatura de funcionamento		-40°C~85°C						
Corrente nominal máxima do fusível		15A						
Voltagem máxima do sistema		1000 VDC						
Tolerância da potência		0~5W						
Classes de aplicação		Class A						

STC: IRRADIÂNCIA 1000W/m², Temperatura do módulo 25 °C, AM=1.5 Ave. redução de eficiência de 4.5% por 200W/m²

NOCT

Item	Módulo	BYD 310P6C-36	BYD 315P6C-36	BYD 320P6C-36	BYD 325P6C-36	BYD 330P6C-36	BYD 335P6C-36	BYD 340P6C-36
Voltagem de circuito aberto (Voc)		42.20 V	42.50 V	42.80 V	43.10 V	43.40 V	43.70 V	43.90 V
Voltagem máxima de funcionamento (Vmp)		33.80 V	34.00 V	34.30 V	34.50 V	34.80 V	35.10 V	35.30 V
Corrente de curto-circuito (Isc)		7.29 A	7.36 A	7.42 A	7.49 A	7.54 A	7.60 A	7.66 A
Corrente máxima de funcionamento (Imp)		6.77 A	6.83 A	6.90 A	6.96 A	7.01 A	7.08 A	7.14 A
Potência máxima em NOCT (Pmax)		228.80 Wp	232.60 Wp	236.4 Wp	240.4 Wp	244.2 Wp	248.1 Wp	251.9 Wp

NOCT: temperatura de funcionamento do módulo de circuito-aberto em 800W/m² irradiação, temperatura ambiente 20°C, velocidade do vento 1m/s.



BYD ENERGY DO BRASIL

Build Your Dreams

Versão 2.0.2017

ANEXO B – Datasheet módulo Canadian



BiHiKu

SUPER HIGH POWER BIFACIAL POLY PERC MODULE
390 W ~ 410 W
UP TO 30% MORE POWER FROM THE BACK SIDE
CS3W-390 | 395 | 400 | 405 | 410PB-AG



MORE POWER

-  Up to 30% more power from the back side
-  24% more front side power than conventional modules
-  **41°C** Low NMOT: 41 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax): -0.37 % / °C
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  Lower internal current, lower hot spot temperature
-  Minimizes micro-cracks and snail trails
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa *
-  Fire Class A and Type 3 / Type 13

* For detail information, please refer to Installation Manual.

-  **30 years** linear power output warranty*
-  **12 years** enhanced product warranty on materials and workmanship*

*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
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / INMETRO
 UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
 UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS Take-e-way



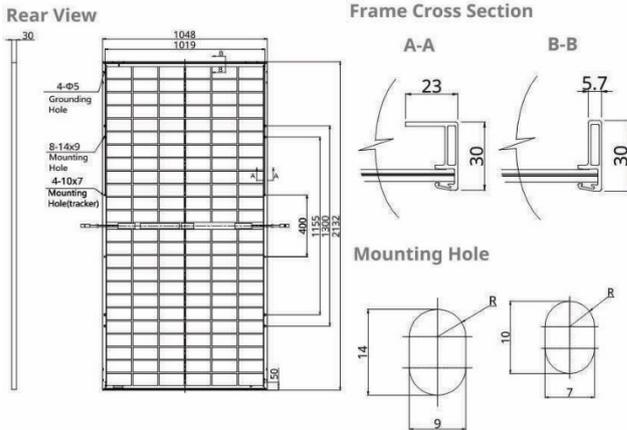
* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 36 GW deployed around the world since 2001.

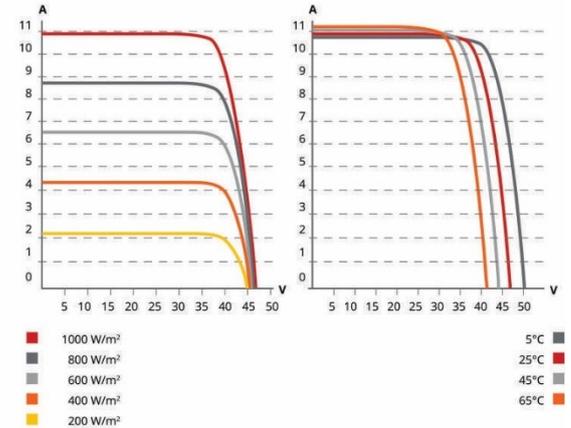
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3W-400PB-AG / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)	Module Efficiency	
CS3W-390PB-AG	390 W	38.3 V	10.19 A	46.8 V	10.74 A	17.45%	
Bifacial Gain**	5%	410 W	38.3 V	10.71 A	46.8 V	11.28 A	18.35%
	10%	429 W	38.3 V	11.21 A	46.8 V	11.81 A	19.20%
	20%	468 W	38.3 V	12.23 A	46.8 V	12.89 A	20.95%
	30%	507 W	38.3 V	13.25 A	46.8 V	13.96 A	22.69%
CS3W-395PB-AG	395 W	38.5 V	10.26 A	47 V	10.82 A	17.68%	
Bifacial Gain**	5%	415 W	38.5 V	10.78 A	47 V	11.36 A	18.57%
	10%	435 W	38.5 V	11.3 A	47 V	11.9 A	19.47%
	20%	474 W	38.5 V	12.31 A	47 V	12.98 A	21.21%
	30%	513 W	38.5 V	13.34 A	47 V	14.07 A	22.96%
CS3W-400PB-AG	400 W	38.7 V	10.34 A	47.2 V	10.9 A	17.90%	
Bifacial Gain**	5%	420 W	38.7 V	10.86 A	47.2 V	11.45 A	18.80%
	10%	440 W	38.7 V	11.37 A	47.2 V	11.99 A	19.69%
	20%	480 W	38.7 V	12.41 A	47.2 V	13.08 A	21.48%
	30%	520 W	38.7 V	13.44 A	47.2 V	14.17 A	23.27%
CS3W-405PB-AG	405 W	38.9 V	10.42 A	47.4 V	10.98 A	18.13%	
Bifacial Gain**	5%	425 W	38.9 V	10.94 A	47.4 V	11.53 A	19.02%
	10%	445 W	38.9 V	11.46 A	47.4 V	12.08 A	19.92%
	20%	486 W	38.9 V	12.5 A	47.4 V	13.18 A	21.75%
	30%	527 W	38.9 V	13.56 A	47.4 V	14.27 A	23.59%
CS3W-410PB-AG	410 W	39.1 V	10.49 A	47.6 V	11.06 A	18.35%	
Bifacial Gain**	5%	431 W	39.1 V	11.03 A	47.6 V	11.61 A	19.29%
	10%	451 W	39.1 V	11.54 A	47.6 V	12.17 A	20.18%
	20%	492 W	39.1 V	12.59 A	47.6 V	13.27 A	22.02%
	30%	533 W	39.1 V	13.64 A	47.6 V	14.38 A	23.85%

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

** Bifacial Gain: The additional gain from the back side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

ELECTRICAL DATA

Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Max. System Voltage	1500 V (IEC/UL) or 1000 V (IEC/UL)
Module Fire Performance	TYPE 3 / Type 13 (UL 1703) or CLASS A (IEC61730)
Max. Series Fuse Rating	25 A
Application Classification	Class A
Power Tolerance	0 ~ + 5 W
Power Bifaciality*	70 %

* Power Bifaciality = P_{max_year} / P_{max_front}, both P_{max_year} and P_{max_front} are tested under STC, Bifaciality Tolerance: ± 5 %

* 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. Canadian Solar Inc. 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.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ELECTRICAL DATA | NMOT*

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)
CS3W-390PB-AG	291 W	35.7 V	8.15 A	44.0 V	8.66 A
CS3W-395PB-AG	295 W	35.9 V	8.21 A	44.2 V	8.72 A
CS3W-400PB-AG	299 W	36.1 V	8.27 A	44.4 V	8.79 A
CS3W-405PB-AG	302 W	36.3 V	8.33 A	44.6 V	8.85 A
CS3W-410PB-AG	306 W	36.5 V	8.39 A	44.8 V	8.92 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2X (12 X6)]
Dimensions	2132 x 1048 x 30 mm (83.9 x 41.3 x 1.2 in)
Weight	28.2 kg (62.2 lbs)
Front / Back Glass	2.0 mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4.0 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 400 mm (15.7 in) (+) / 280 mm (11.0 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1850 mm (72.8 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	35 pieces
Per Container (40' HQ)	700 pieces or 560 pieces (only for US and Canada)

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

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION



ANEXO C – Datasheet módulo Jinko

www.jinkosolar.com



Cheetah HC 72M-V

390-410 Watt

MONO PERC HALF CELL MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

- Half Cell
- Mono PERC 72 Cell

PERC



KEY FEATURES



5 Busbar Solar Cell

5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



High Voltage

UL and IEC 1500V certified; lowers BOS costs and yields better LCOE



High Efficiency

Higher module conversion efficiency (up to 20.38%) benefit from half cell structure (low resistance characteristic).



PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.



Low-light Performance

Advanced glass and cell surface textured design ensure excellent performance in low-light environment.



Severe Weather Resilience

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



Durability Against Extreme Environmental Conditions

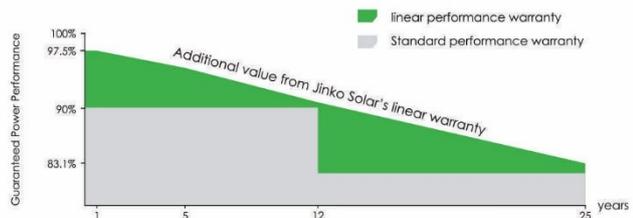
High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

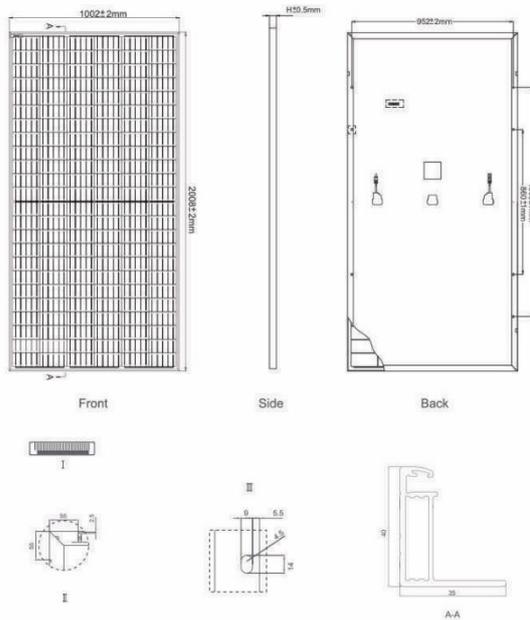
12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



- ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001 certified factory
- IEC61215, IEC61730, UL1703 certified product



Engineering Drawings



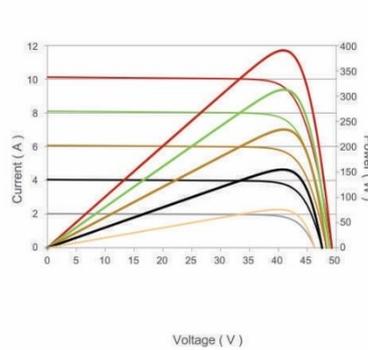
Packaging Configuration

(Two pallets =One stack)

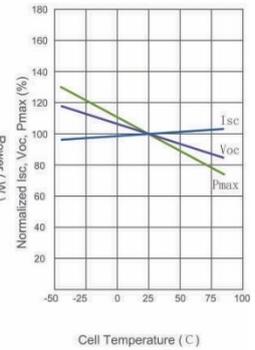
27pcs/pallet , 54pcs/stack, 594pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence

Current-Voltage & Power-Voltage Curves (390W)



Temperature Dependence of Isc, Voc, Pmax



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 158.75×158.75mm
No.of Half-cells	144 (6×24)
Dimensions	2008×1002×40mm (79.06×39.45×1.57 inch)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TÜV 1x4.0mm ² , Anode 290mm, Cathode 145mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM390M-72H-V		JKM395M-72H-V		JKM400M-72H-V		JKM405M-72H-V		JKM410M-72H-V	
	STC	NOCT								
Maximum Power (Pmax)	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp	405Wp	306Wp	410Wp	310Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.6V	42.0V	39.8V	42.3V	40.0V
Maximum Power Current (Imp)	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A	9.65A	7.72A	9.69A	7.76A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V	50.1V	48.7V	50.4V	48.9V
Short-circuit Current (Isc)	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A	10.48A	8.22A	10.60A	8.26A
Module Efficiency STC (%)	19.38%		19.63%		19.88%		20.13%		20.38%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.36%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📱 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📱 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌬 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

ANEXO D – Folheto inversor Fronius Primo

FRONIUS PRIMO

/ O inversor comunicativo para gerenciamento de energia otimizada



DADOS TÉCNICOS FRONIUS PRIMO

DADOS DE ENTRADA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 4.0-1
Max. corrente de entrada (Idc max1 / Idc max2)	12.0 A / 12.0 A	
Max. conjunto corrente curto-circuito (MPP1 / MPP2)	18.0 A / 18.0 A	
Min. tensão de entrada (Udc min)	80 V	
Tensão de alimentação inicial (Udc_start)	80 V	
Tensão nominal de entrada (Udc,r)	710 V	
Max. tensão de entrada (Udc max)	1,000 V	
Faixa de tensão MPP (Umpp min - Umpp max)	200 - 800 V	210 - 800 V
Numero de rastreadores MPP	2	
Número de entradas DC	2 + 2	
Certificado INMETRO	Concessão: 002132/2016	Concessão: 002130/2016
Certificados	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150	

DADOS DE SAÍDA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 4.0-1
Tensão nominal de saída (Pac,r)	3,000 W	4,000 W
Max.potência de saída	3,000 VA	4,000 VA
Max. corrente de saída (Iac max)	13.0 A	17.4 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	1 - NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)	
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	
Distorsão harmônica total	< 5 %	
Fator de potência (cos φac,r)	0.85 - 1 ind. / cap.	

DADOS DE ENTRADA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Max. corrente de entrada (Idc max1 / Idc max2)	12.0 A / 12.0 A		
Max. conjunto corrente curto-circuito (MPP1 / MPP2)	18.0 A / 18.0 A		
Min. tensão de entrada (Udc min)	80 V		
Tensão de alimentação inicial (Udc_start)	80 V		
Tensão nominal de entrada (Udc,r)	710 V		
Max. tensão de entrada (Udc max)	1,000 V		
Faixa de tensão MPP (Umpp min - Umpp max)	240 - 800 V	270 - 800 V	
Numero de rastreadores MPP	2		
Número de entradas DC	2 + 2		
Certificado INMETRO	Concessão: 002133/2016	Concessão: 002131/2016	Concessão: 002134/2016
Certificados	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150		

DADOS DE SAÍDA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Tensão nominal de saída (Pac,r)	5,000 W	6,000 W	8,200 W
Max.potência de saída	5,000 VA	6,000 VA	8,200 VA
Max. corrente de saída (Iac max)	21.7 A	26.1 A	35.7 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	1 - NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)		
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Distorsão harmônica total	< 5 %		
Fator de potência (cos φac,r)	0.85 - 1 ind. / cap.		

ANEXO E – Datasheet Microinversor APsystems



Liderando a Tecnologia da
Indústria de Microinversores Solar

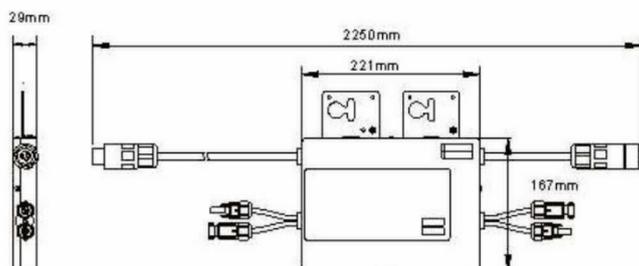


YC500A

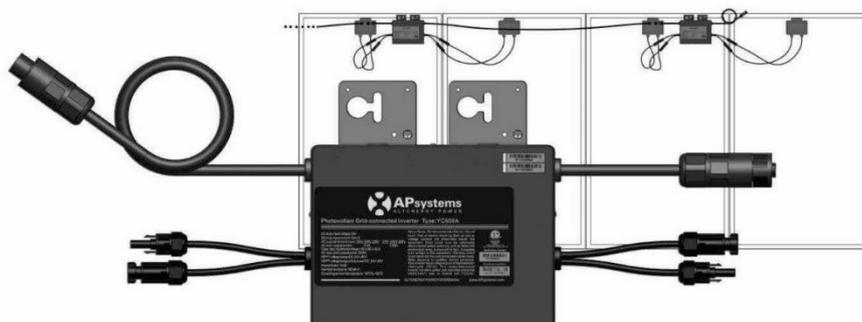
Microinversor

- Dois painéis solares por módulo
- MPPT individual para cada painel solar
- Potência máxima de saída de 500W
- Dispositivo de desconexão automático integrado

DIMENSÕES



Nosso produto em destaque, o APsystems YC500A é um Microinversor conectado à rede, com sistema de monitoramento inteligente que garante a máxima eficiência na extração de energia. Altamente confiável e de baixo custo, o YC500A opera com MPPT duplo, injetando até 250W AC por painel fotovoltaico. A simplicidade do Microinversor e da instalação resultam numa economia de custo real para os clientes residenciais e comerciais.



Microinversor APsystems YC500A - Datasheet

Região	Brasil
Modelo	YC500A-BR
Dados de Entrada (DC)	
Faixa de Tensão MPPT	22V-45V
Faixa de Tensão de Operação	16V-52V
Tensão Máxima de Entrada	55V
Tensão de Partida	22V
Corrente Máxima de Entrada	12A x 2
Dados de Saída (AC)	
Potência Máxima de Saída	500W
Tensão Nominal de Saída	220V
Corrente Nominal de Saída	2.27A
Faixa Padrão de Tensão de Saída	176V-242V*
Faixa Estendida de Tensão de Saída	150V-298V
Frequência Nominal de Saída	60Hz
Faixa Padrão de Frequência de Saída	57.5Hz-62Hz*
Faixa Estendida de Frequência de Saída	55.1Hz -64.9Hz
Fator de Potência	>0.99
Distorção Harmônica Total	<3%
Eficiência	
Eficiência de Pico	95.5%
Consumo de Potência Noturna	120mW
Dados Mecânicos	
Faixa de Temperatura de Operação Ambiente	-40°C até +65°C
Faixa de Temperatura de Armazenamento	-40°C até +85°C
Dimensões (L x A x P)	221mm x 167mm x 29mm
Peso	2.5kg
Corrente AC Máxima do Barramento	20A
Classificação do Gabinete	IP67
Ventilação	Convecção natural – Sem Ventilador
Características & Conformidade	
Comunicação (Inversor - ECU)	PLC - Power Line Communication
Monitoramento	Via Programa EMA
Transformadores	Trafos de alta frequência, Isolamento Galvânico
Conformidade	ABNT NBR 16149:2013, ABNT NBR 16150:2013 e ABNT NBR IEC 62116: 2012
Desconexão Automática	Dispositivo de Auto Desconexão Integrado

* Programável em campo através da ECU para atender às necessidades dos clientes

© Todos os direitos reservados

Especificações sujeitas a alterações sem aviso prévio - por favor, garanta que você esteja usando a atualização mais recente encontrada em www.APsistemas.com

600 Ericksen Ave NE, Suite 200 Seattle, WA 98110 | 844.666.7035 | APsystems.com