



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE ESTACIONAMENTOS FOTOVOLTAICOS COM  
APROVEITAMENTO PLUVIAL NO CAMPUS DO CEFET-MG EM VARGINHA

LUÍS EUGÊNIO FERREIRA AZEVEDO

VARGINHA - MG

2021

LUÍS EUGÊNIO FERREIRA AZEVEDO

ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE ESTACIONAMENTOS FOTOVOLTAICOS COM  
APROVEITAMENTO PLUVIAL NO CAMPUS DO CEFET-MG EM VARGINHA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas  
Gerais como requisito parcial para obtenção do título  
de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Valéria Antônia Justino Rodrigues.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Nayara Vilela Avelar

VARGINHA – MG

2021

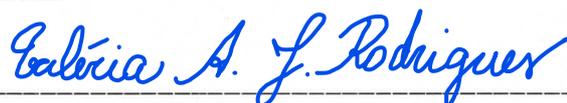
LUÍS EUGÊNIO FERREIRA AZEVEDO

ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO DE ESTACIONAMENTOS FOTOVOLTAICOS COM  
APROVEITAMENTO PLUVIAL NO CAMPUS DO CEFET-MG EM VARGINHA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas  
Gerais como requisito parcial para obtenção do título  
de Engenheiro Civil.

Data da aprovação: 24/08/2021

Banca examinadora:



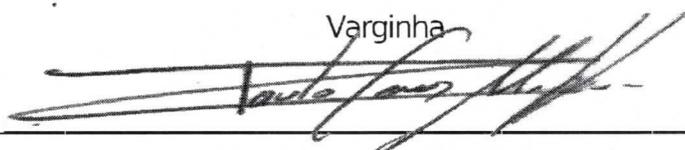
Valéria Antônia Justino Rodrigues, Dra.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Unidade  
Varginha



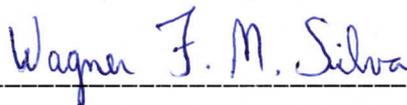
Luciana Alvarenga Santos, Dra.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Unidade  
Varginha



Paulo César Mappa, D.Sc.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Unidade  
Varginha



Wagner Francisco Marinho da Silva, Dr.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Unidade  
Varginha

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus.

A todo corpo docente do CEFET-MG, os quais participaram e sempre contribuíram no meu processo de aprendizado.

À instituição CEFET-Varginha, por fornecer esta oportunidade de me graduar em Engenharia Civil.

A todos meus colegas de turma que sempre me ajudaram nesta jornada até aqui, seja sanando dúvidas ou apoiando em momentos difíceis.

Agradeço aos meus pais, Luís e Maria, por sempre me incentivarem a estudar, apoiando-me e mostrando que nunca devemos desistir.

À minha namorada Gabriella que sempre esteve presente nesta minha caminhada.

Agradeço por fim, a todos aqueles os quais não foram citados, porém deixaram-me algum ensinamento em vida.

## RESUMO

A demanda por energia elétrica vem crescendo de forma exponencial. A cada ano, a humanidade aumenta o consumo e com isso é necessário diversificar a geração energética. O Brasil possui grande potencial energético a partir de hidrelétricas, isto ocorre devido a suas condições geográficas. Por outro lado, o país apresenta condições privilegiadas para explorar a energia fotovoltaica devido ao índice de irradiação alto em boa parte do ano. O presente trabalho apresenta um estudo de implantação de dois estacionamentos fotovoltaicos com aproveitamento de água pluvial para o CEFET-Varginha. Ademais, foi feita uma análise técnica e econômica do sistema fotovoltaico e avaliou a economia de água. Foi realizada a escolha do local, o dimensionamento do sistema fotovoltaico com captação de água pluvial e o uso de indicadores econômicos, *payback* e TIR, para análise da taxa de retorno. O sistema fotovoltaico mostrou bons resultados em relação a geração de energia elétrica e com tempo de retorno curto (65 meses). Em relação ao reuso de água para usos não potáveis, irrigação da área verde do campus, foi observado que julho foi o mês mais crítico e outubro foi o mês que mais contribuiu para a área irrigada. Com o sistema pluvial é possível reduzir o valor pago pelo m<sup>3</sup> devido a menor faixa de tarifação. Por fim, verificou-se que o projeto cumpriu o papel de sustentabilidade ambiental que é um requisito importante nos dias atuais.

**Palavras-chave:** Energia solar. Reuso de água. Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

The demand for electricity has been growing exponentially. Every year, humanity increases consumption and with this it is necessary to diversify energy generation. Brazil has great energy potential from hydroelectric plants, this is due to its geographical conditions. On the other hand, the country has privileged conditions to explore photovoltaic energy due to the high rate of irradiation in most of the year. The present work presented a study of the implementation of two photovoltaic parking lots using rainwater for CEFET-Varginha. Furthermore, a technical and economic analysis of the photovoltaic system was carried out and water savings were evaluated. The choice of the location, the dimensioning of the photovoltaic system with rainwater collection and the use of economic indicators, payback and TIR, for the analysis of the rate of return were carried out. The photovoltaic system showed good results in relation to electricity generation and with a short payback time (65 months). Regarding the reuse of water for non-potable uses, irrigation of the green area of the campus, it was observed that July was the most critical month and October was the month that most contributed to the irrigated area. With the pluvial system, it is possible to reduce the amount paid for m<sup>3</sup> due to a lower tariff range. Finally, it was found that the project fulfilled the role of environmental sustainability, which is an important requirement nowadays.

**Keywords:** Solar energy. Water reuse. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA DE 2019.....	14
FIGURA 2 - MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA DE 2018.....	14
FIGURA 3 - CRESCIMENTO DA ENERGIA SOLAR MUNDIAL DE 2007 ATÉ 2017.....	15
FIGURA 4 - PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR MUNDIAL DE 2007 ATÉ 2017.....	15
FIGURA 5 - ESTRUTURA DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	17
FIGURA 6 - RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA EM MJ/M <sup>2</sup> . DIA.....	18
FIGURA 7 - MAPA DE RADIAÇÃO SOLAR DIVIDIDO PELAS MÉDIAS MENSIS EM TERRITÓRIO NACIONAL.....	19
FIGURA 8 - ESTRUTURA BÁSICA DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO.....	20
FIGURA 9 - PAINEL FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO MONOCRISTALINO.....	21
FIGURA 10 - PAINEL SOLAR DE SILÍCIO POLICRISTALINO.....	22
FIGURA 11 - PAINEL DE SILÍCIO AMORFO.....	23
FIGURA 12 - SISTEMA <i>ON GRID</i> .....	24
FIGURA 13 - SISTEMA <i>OFF GRID</i> .....	25
FIGURA 14 - TIPOS DE ESTACIONAMENTOS COM COBERTURA FOTOVOLTAICA.....	27
FIGURA 15 - ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO DO MAX MIN CLUBE.....	27
FIGURA 16 - SISTEMA DE REAPROVEITO PLUVIAL COM INFILTRAÇÃO NO SOLO.....	28
FIGURA 17 - COMPRIMENTO DAS FACES DO LOCAL DESTINADO AO PROJETO.....	32
FIGURA 18 - PROJETO DA ESTRUTURA PRÉ-FABRICADAS PARA UMA VAGA (SIMPLES).....	33
FIGURA 19 - PROJETO DA ESTRUTURA PRÉ-FABRICADAS PARA DUAS VAGAS (DUPLO).....	33
FIGURA 20 - ÁREA ÚTIL DO ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO 1.....	34
FIGURA 21 - ÁREA ÚTIL DO ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO 2.....	34
FIGURA 22 - DADOS DA IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA DO CEFET-MG UNIDADE VARGINHA.....	35
FIGURA 23 - PLACA FOTOVOLTAICA CS3W-435P.....	37
FIGURA 24 – DISPOSIÇÃO MÁXIMA DAS PLACAS NO ESTACIONAMENTO 1.....	38
FIGURA 25 – DISPOSIÇÃO MÁXIMA DAS PLACAS NO ESTACIONAMENTO 2.....	38
FIGURA 26 – INVERSOR ESCOLHIDO.....	39
FIGURA 27 - DIAGRAMA UNIFILAR PARA INVERSORES DO ESTACIONAMENTO 1.....	41
FIGURA 28 - DIAGRAMA UNIFILAR PARA INVERSORES DO ESTACIONAMENTO 2.....	41
FIGURA 29 - DADOS DE ENTRADA PARA O ESTACIONAMENTO 1.....	42
FIGURA 30 - DADOS DE ENTRADA PARA O ESTACIONAMENTO 2.....	42
FIGURA 31 - TRAJETÓRIA SOLAR EM VARGINHA (DIAGRAMA ALTURA/AZIMUTE) PARA O ESTACIONAMENTO 1.....	43
FIGURA 32 - TRAJETÓRIA SOLAR EM VARGINHA (DIAGRAMA ALTURA/AZIMUTE) PARA O ESTACIONAMENTO 2.....	43
FIGURA 33 - DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS NO PVSYS.....	44
FIGURA 34 - DIMENSIONAMENTO DO ESTACIONAMENTO 1.....	44
FIGURA 35 - DIMENSIONAMENTO DO ESTACIONAMENTO 2.....	45
FIGURA 36 - RESUMO DO ESTACIONAMENTO 1.....	45
FIGURA 37 - RESUMO DO ESTACIONAMENTO 2.....	45
FIGURA 38 - CAPACIDADE DAS CALHAS SEMICIRCULARES COM N=0,011.....	48
FIGURA 39 - ÂBACO PARA DIMENSIONAMENTO DO CONDUTOR VERTICAL.....	49
FIGURA 40 - CAPACIDADE DE CONDUTORES HORIZONTAIS DE SEÇÃO CIRCULAR (VAZÕES EM L/MIN).....	50
FIGURA 41 - CORTE ESQUEMÁTICO DO ESTACIONAMENTO E SISTEMA DE REUSO (SEM ESCALA) ..	53
FIGURA 42 - PLANTA BAIXA DOS ESTACIONAMENTOS 1 E 2 (SEM ESCALA).....	53

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESTRUTURAS DOS ESTACIONAMENTOS. ....	34
TABELA 2 - ESPECIFICAÇÕES BÁSICAS DA CS3W-435P.....	37
TABELA 3 - CUSTO TOTAL DA OBRA. ....	46
TABELA 4 - RESUMO DA VIABILIDADE ECONÔMICA.....	47
TABELA 5 -DETERMINAÇÃO DA ÁREA IRRIGADA PELO MÉTODO DE RIPPL. ....	51
TABELA 6 - ECONOMIA ESTIMADA PELO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL.....	52

## **LISTA DE SIGLAS**

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

REN21 – Renewable Energy Policy Network (Rede de Política de Energia Renovável).

SINAPI-MG – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil de Minas Gerais.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	11
1.2.	OBJETIVO GERAL.....	12
1.3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.4.	JUSTIFICATIVA.....	13
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1.	CENÁRIO ENERGÉTICO.....	13
2.2.	ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	16
2.3.	ÍNDICE SOLARIMÉTRICO.....	17
2.4.	CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	20
2.4.1.	SILÍCIO MONOCRISTALINO (M-Si).....	21
2.4.2.	SILÍCIO POLICRISTALINO (P-Si).....	21
2.4.3.	SILÍCIO AMORFO (A-Si).....	22
2.4.4.	FILMES FINOS.....	23
2.5.	TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	23
2.5.1.	SISTEMA ON GRID.....	24
2.5.2.	SISTEMA OFF GRID.....	24
2.6.	USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	25
2.7.	ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO.....	26
2.8.	DRENAGEM PLUVIAL.....	28
2.9.	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	29
3.	METODOLOGIA.....	29
3.1.	ÁREA DE ESTUDO.....	30
3.2.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	30
3.3.	ESTRUTURA DO ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO.....	30
3.4.	SISTEMA ELÉTRICO.....	30
3.5.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL.....	31
3.6.	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	31
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5.	CONCLUSÕES.....	53
5.1.	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
	ANEXO A – DISPOSIÇÃO DAS PLACAS NO ESTACIONAMENTO.....	60
	ANEXO B – ESPECIFICAÇÃO DO MÓDULO CS3W-435P.....	61
	ANEXO C – ESPECIFICAÇÕES DO INVERSOR ABB UNO 8.6.....	63
	ANEXO D – RELATÓRIO DE RESULTADOS DO PVSYST 7.2 PARA O ESTACIONAMENTO 1.....	66
	ANEXO E – RELATÓRIO DE RESULTADOS DO PVSYST 7.2 PARA O ESTACIONAMENTO 2.....	70
	ANEXO F – TABELA REFERENTE AO PAYBACK.....	74
	ANEXO G –CONTA DO CONSUMO DE ÁGUA NO CAMPUS.....	79

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização

Projetos sustentáveis são vistos como algo indispensável e importante para adoção de tecnologias que trazem benefícios à população, tanto em relação a preservação dos recursos ambientais como no aspecto econômico. Diante disto, é notório que existe um grande interesse em reduzir o uso de energias não renováveis e de fontes não sustentáveis. Neste contexto, a geração de energia elétrica obtida por meio de fontes sustentáveis tem grande crescimento e, como exemplo, podemos citar o uso das placas fotovoltaicas a fim de gerar energia a partir da radiação solar, que vem se tornando uma das formas mais promissoras de geração de energia renovável (NAKABAYASHI, 2014).

Segundo o Plano Nacional de Energia de 2030 (EPE, 2007), o consumo de energia projetado para 2030 estará entre 950 e 1250 TWh/ano, um valor bastante alto que irá demandar aumento de oferta energética no Brasil, sendo necessário o uso de outras tecnologias capazes de gerar energia. Dentre as alternativas disponíveis no mercado, as placas fotovoltaicas são uma ótima alternativa de geração sustentável e limpa.

Desde a primeira placa fotovoltaica, criada em 1954, a energia solar tem tido uma grande evolução no quesito desempenho e muitos países como China, Alemanha, Estados Unidos e Itália tem adotado essa tecnologia (BLOOMBER NEW ENERGY FINANCE, 2017). Castro (2008) relatou que a energia fotovoltaica, em comparação com outras matrizes energéticas, apresentou baixo impacto ambiental, alto custo benefício, facilidade de implantação e uma grande abrangência de mercado.

A busca por novas fontes energéticas é um fator muito importante para o Brasil. Nos últimos anos foi observado que os níveis dos reservatórios das hidrelétricas, fonte energética predominante no país, atingiu valores baixos, devido à escassez de chuvas. A implantação de placas fotovoltaicas ainda é algo pouco disseminado no Brasil, devido ao alto custo inicial. Por outro lado, o retorno financeiro é estimado em torno de 6 anos que não é muito longo se comparado com a durabilidade de uma placa fotovoltaica que é estimada em 25 anos. Ademais, o Brasil é um país com uma enorme incidência de raios solares. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar,

no país é incidido diariamente 4,444 kWh/m<sup>2</sup> a 5,483 kWh/m<sup>2</sup>, sendo este valor alto comparado aos países que comandam o uso desta tecnologia (PEREIRA *et al.*, 2017).

Grande parte das instalações de geração de energia elétrica por meio de placas fotovoltaicas tem sido feita em residências, mas é importante ressaltar a utilização desta tecnologia em edificações públicas. Sendo a implantação destas placas em estacionamento uma das formas de utilização, que pode trazer inúmeros benefícios socioeconômicos para os prédios públicos, como exemplo, as instituições de ensino. Além do aspecto sustentável, a cobertura irá proteger os automóveis da comunidade universitária das condições de intempéries. O abrigo gerado pelas placas também é capaz de dar maior conforto térmico aos usuários, uma vez que a radiação solar não será incidida diretamente nos automóveis e usuários.

Além da conversão da energia solar em elétrica, no estacionamento fotovoltaico pode-se coletar a água de chuva em reservatórios pluviais, sendo ainda mais sustentáveis. Segundo Tomaz (2011), 97,5% da água do planeta é salgada, 2,5% doce, onde aproximadamente 0,266% encontra-se acessível ao consumo humano. Portanto, para usos menos nobres, o reuso de águas torna-se um fator primordial. Além da quantidade disponível, a qualidade da água doce também causa preocupação. A região Sudeste que apresenta boa disponibilidade hídrica e pouca valoração do recurso, já tem adotado medidas mais restritivas em relação ao uso (BICUDO *et al.*, 2014). Diante disto, o reuso de águas pluviais tem sido adotado em vários empreendimentos de engenharia.

## **1.2. Objetivo geral**

Estudar a implantação e a viabilidade de estacionamentos fotovoltaicos com aproveitamento de água pluvial para o CEFET-Varginha.

## **1.3. Objetivos específicos**

- Avaliar a melhor área para implantação dos painéis fotovoltaicos;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico com aproveitamento pluvial;
- Definir a estrutura do estacionamento;
- Realizar a análise do sistema de captação de água pluvial;
- Analisar o custo e o tempo de retorno do sistema fotovoltaico.

## **1.4. Justificativa**

É indiscutível que o incentivo pelo uso de fontes energéticas sustentáveis vem crescendo em todo planeta. De acordo, com um estudo da *New Energy Outlook* (NEO, 2017) até 2040 aproximadamente 34% de toda geração energética será proveniente de fontes eólicas e solares. Os países desenvolvidos vêm investindo fortemente na energia solar. O Brasil, por sua vez, possui grande capacidade de geração fotovoltaica devido a sua geolocalização. Segundo Pereira *et al.* (2017), no Brasil, o lugar com menor incidência solar é capaz de gerar mais Watts do que o lugar mais ensolarado da Alemanha, país que apresenta grande utilização da energia solar para a geração de eletricidade.

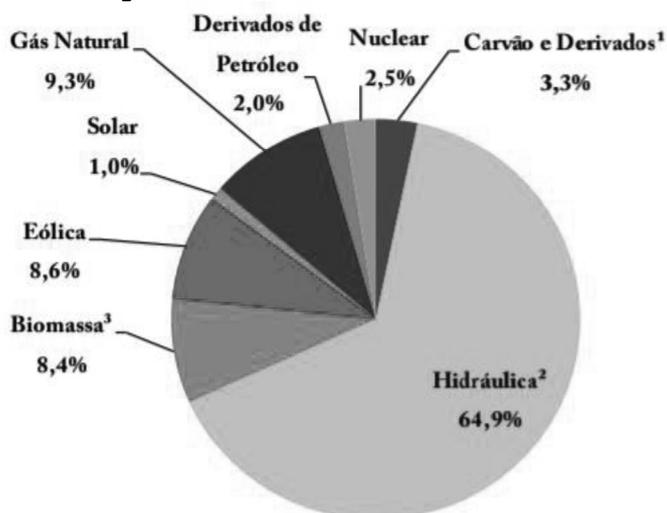
Com isso, o custo de implantação de sistemas fotovoltaicos pode trazer retorno econômico de médio a curto prazo devido ao potencial solarimétrico do Brasil. O campus do CEFET-Varginha possui área disponível e localização favorável para implantação de estacionamentos fotovoltaicos. Além da economia, a utilização de um estacionamento com cobertura fotovoltaica irá promover conforto térmico e proteção para os usuários do campus. Ademais, pode-se incluir ao sistema, o aproveitamento de água pluvial para uso não potáveis visando maior sustentabilidade do projeto.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Cenário energético**

A matriz energética é composta por toda energia disponível e gerada no país. As fontes mais comuns utilizadas no Brasil podem ser vistas na Figura 1. De forma geral, é importante buscar formas de energia advindas de fontes renováveis, sendo estas: solar, biomassa, eólica, hidráulica. O Brasil conta com posição privilegiada para acomodar uma expansão significativa de energias renováveis intermitentes – características das novas renováveis, como a solar e a eólica (LOSEKANN; HALLACK, 2017). Na Figura 1 é apresentado o relatório de 2020, disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que faz referência aos dados do ano de 2019.

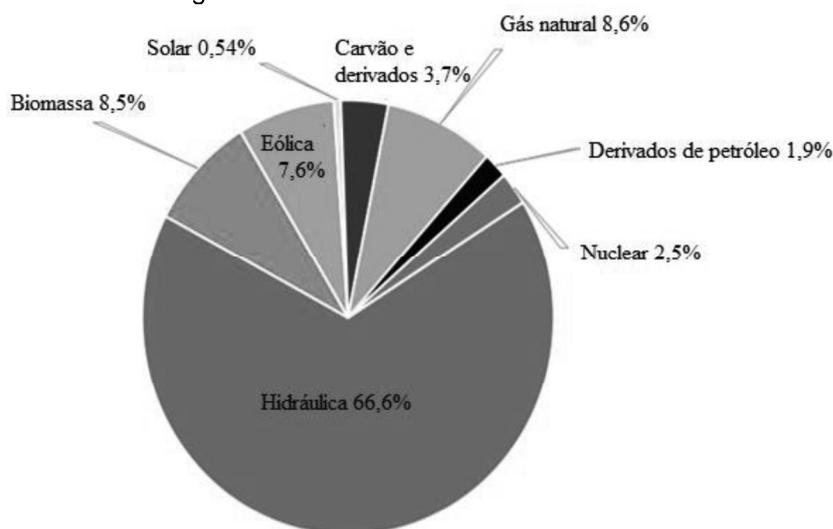
Figura 1 - Matriz elétrica brasileira de 2019.



Fonte: Adaptado de EPE, 2020.

Com os dados, observou-se que boa parte da energia disponibilizada no Brasil provém de fontes renováveis, que é um importante fato e pouco comum nos países subdesenvolvidos. Geralmente, a disponibilidade de energia está relacionada ao desenvolvimento econômico de um local. Entretanto, a utilização de energia solar é baixa se comparada com os percentuais das outras fontes. Se analisarmos a Figura 2, a seguir, que apresenta os dados percentuais da oferta interna de energia elétrica do ano de 2019 com referência ao ano de 2018, é possível perceber que a utilização de energia solar obteve aumento. Os dados mostraram que o uso quase dobrou de um ano ao outro, tendo um aumento de aproximadamente 85%.

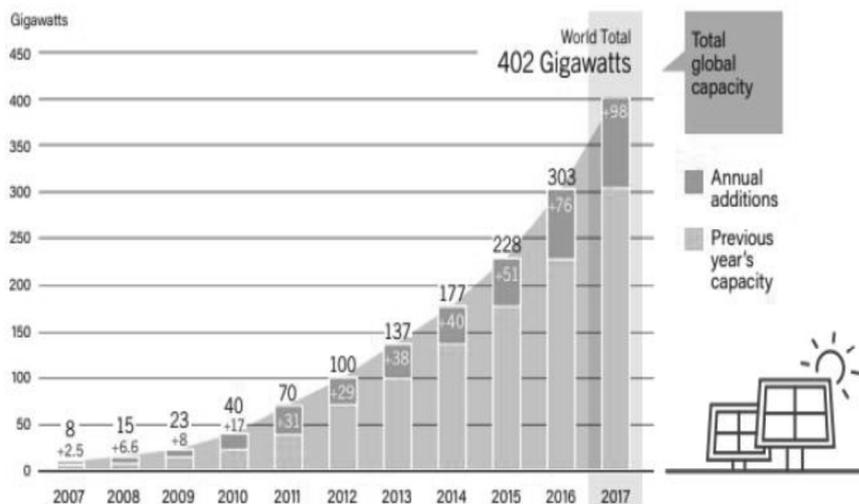
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira de 2018.



Fonte: Adaptado de EPE, 2019.

Em uma visão geral do cenário energético, o aumento da energia solar no mundo, segundo os dados da REN21, teve crescimento exponencial nos últimos anos (Figura 3).

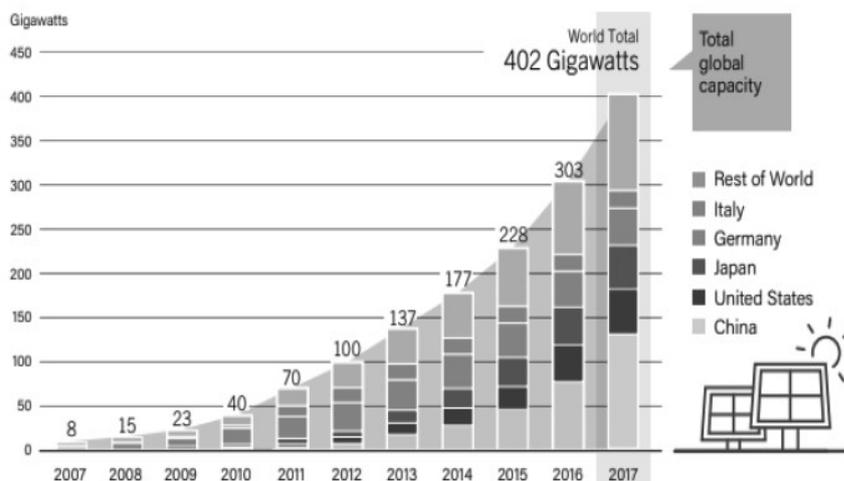
Figura 3 - Crescimento da energia solar mundial de 2007 até 2017.



Fonte: REN21, 2018.

Por outro lado, o cenário mundial não é tão otimista, é possível perceber que a demanda por energia solar é utilizada por poucos países, sendo estes: Itália, Alemanha, Japão, Estados Unidos e China (Figura 4).

Figura 4 - Produção de energia solar mundial de 2007 até 2017.



Fonte: REN21, 2018.

A matriz elétrica brasileira é dominada pelas fontes energéticas hidráulicas, segundo a ANEEL (ANEEL, 2008). Este cenário ocorre devido as características

geográficas do país, que possui um grande número de quedas d'águas que contribuem para o grande potencial hidrelétrico. Outro fato, é relacionado a questões geopolíticas que interferem no suprimento de energia, favorecendo às construções de hidrelétricas com subsídios do governo (Pimentel, 2012). No Brasil, as maiores hidrelétricas são as usinas de Itaipu e Belo Monte. A hidrelétrica binacional de Itaipu, que teve o início de suas obras em 1984, possui uma potência instalada de 14.000 MW (ITAIPU, 2020) e a usina de Belo Monte, terceira maior usina hidrelétrica do mundo, possui capacidade potencial de 11.200 MW (NORTE ENERGIA, 2017).

Segundo Pereira *et al.* (2017), a implantação de hidrelétricas tende a ter perda de espaço no mercado devido aos impactos sociais e ambientais, causados pelas grandes áreas alagadas que causam alteração do ciclo hidrológico e danos ao equilíbrio ecossistêmico local.

Mesmo com o grande potencial hidrelétrico, a alta demanda de energia no Brasil tem sido suprimida pela ampliação das usinas termelétricas com fontes não renováveis (carvão, gás natural, óleo). Tal fato está em inconformidade com as questões ambientais tão discutidas pela a ANEEL que incentiva os grandes consumidores a optarem por fontes de energias renováveis. A utilização de energias renováveis é capaz de reduzir grande parte da emissão de gases poluentes (ANEEL, 2008).

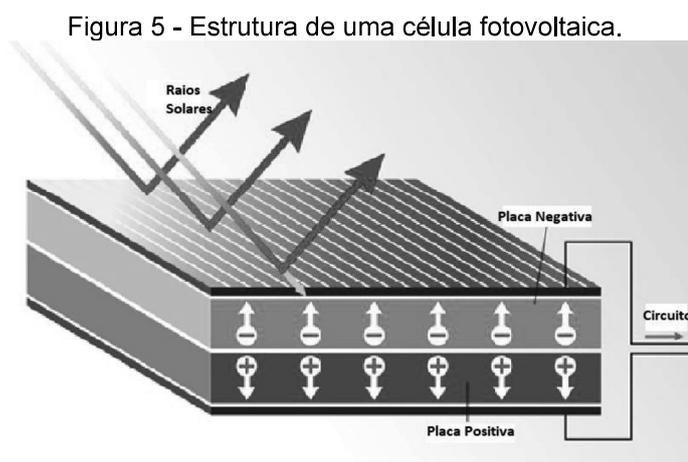
Em 2010, o país contava com 521 empreendimentos eólicos em operação, sendo a maioria deles situados na região nordeste do país, em função das condições climáticas e da baixa densidade populacional, uma vez que a fonte eólica produz alto ruído, sendo necessário instalar longe de polos populacionais (EPE, 2020). Fontes renováveis, eólica ou fotovoltaica, trazem grandes benefícios ambientais, porém, a sua eficiência varia com as condições climáticas locais, como dias nublados ou sem vento, em que a geração dessas fontes é menor (DUPONT; GRASSI; TOMITTI, 2015). Segundo Pereira *et al.* (2006), a utilização da energia solar é vantajosa no Brasil, mesmo nas regiões menos favorecidas pela irradiação solar, como a região Sul.

## **2.2. Energia fotovoltaica**

O Sol é a fonte de energia mais abundante em todo planeta Terra, é a fonte primordial da energia para toda a biosfera. Segundo Abbot (2010), o Sol é a energia de maior magnitude existente no sistema solar, sendo capaz de suprir toda a

necessidade energética dos planetas. De toda energia que chega na terra na forma de radiação, 19% é dissipada pelas nuvens, 30% refletida de volta ao espaço e 51% é absorvida pelo planeta. É estimado que os 51% de energia absorvido é 5000 vezes maior que as necessidades atuais de toda humanidade. Para Galdino (2014), a energia solar é uma fonte quase inesgotável e pode ser absorvida afim de gerar energia elétrica para diversos usos.

Para que a energia da radiação solar seja convertida em energia elétrica, deve-se ocorrer o efeito fotovoltaico. Para isso, são usados painéis de silício, material semicondutor. Tais painéis absorvem a energia incidente da radiação solar, contida nos fótons da luminosidade, e transferem para os elétrons dos painéis que são enviados para os circuitos externos, gerando a energia elétrica. Na Figura 5 é mostrado um esquema representativo do efeito fotovoltaico.



Fonte: Adaptado de SOLARMAGAZINE, 2020.

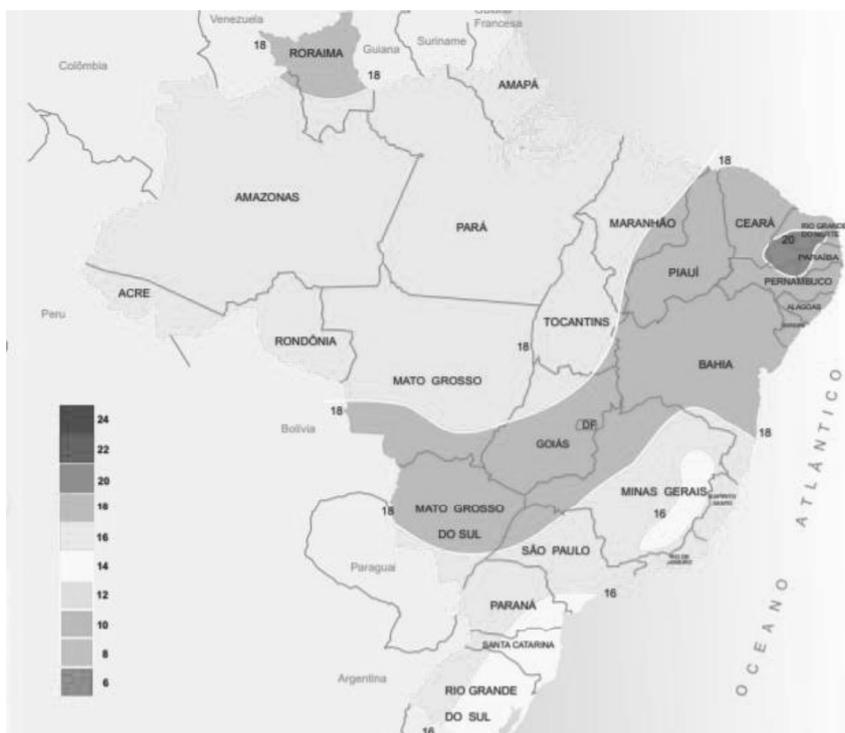
### 2.3. Índice solarimétrico

O índice solarimétrico é importante na análise de viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico. A partir desta informação, é possível verificar a quantidade de energia elétrica produzida nos painéis. Cada local apresenta um valor de radiação diferente, sendo esse relacionado com a posição geográfica e o ângulo de incidência solar. Ademais, para os painéis atingirem potencial máximo de absorção da radiação é necessário que a sua posição seja orientada para o ângulo de maior absorção dos raios solares (PEREIRA *et al.*, 2017). Os valores da incidência solar variam ao longo do ano e dependem da região. Essa variação ocorre devido às condições climáticas

relacionada à altura solar, ou seja, o ângulo dos raios solares e a projeção dele sobre o plano horizontal.

Geograficamente, o Brasil é privilegiado pelo Sol, esta vantagem faz das regiões tropicais, locais propícios para implantação de sistemas solares. Quanto mais próximo à cidade está da linha do Equador, maior é o índice de radiação solar (SILVA; MACIEL; FRANÇA, 2017). Isso ocorre devido à inclinação do eixo da rotação da terra em relação ao plano da elipse, os raios solares percorrem menores distâncias para atravessar a atmosfera terrestre nestas localidades (TORRES, 2012). Sendo assim, a energia solar é considerada uma grande oportunidade de investimento, pois, as regiões brasileiras apresentam as melhores condições de incidência solar e com apoio das políticas públicas esta fonte é bastante viável (SILVA; MACIEL; FRANÇA, 2017). Na Figura 6, é apresentada a média diária anual de incidência da radiação solar no território nacional.

Figura 6 - Radiação solar global diária em MJ/m<sup>2</sup>. dia.

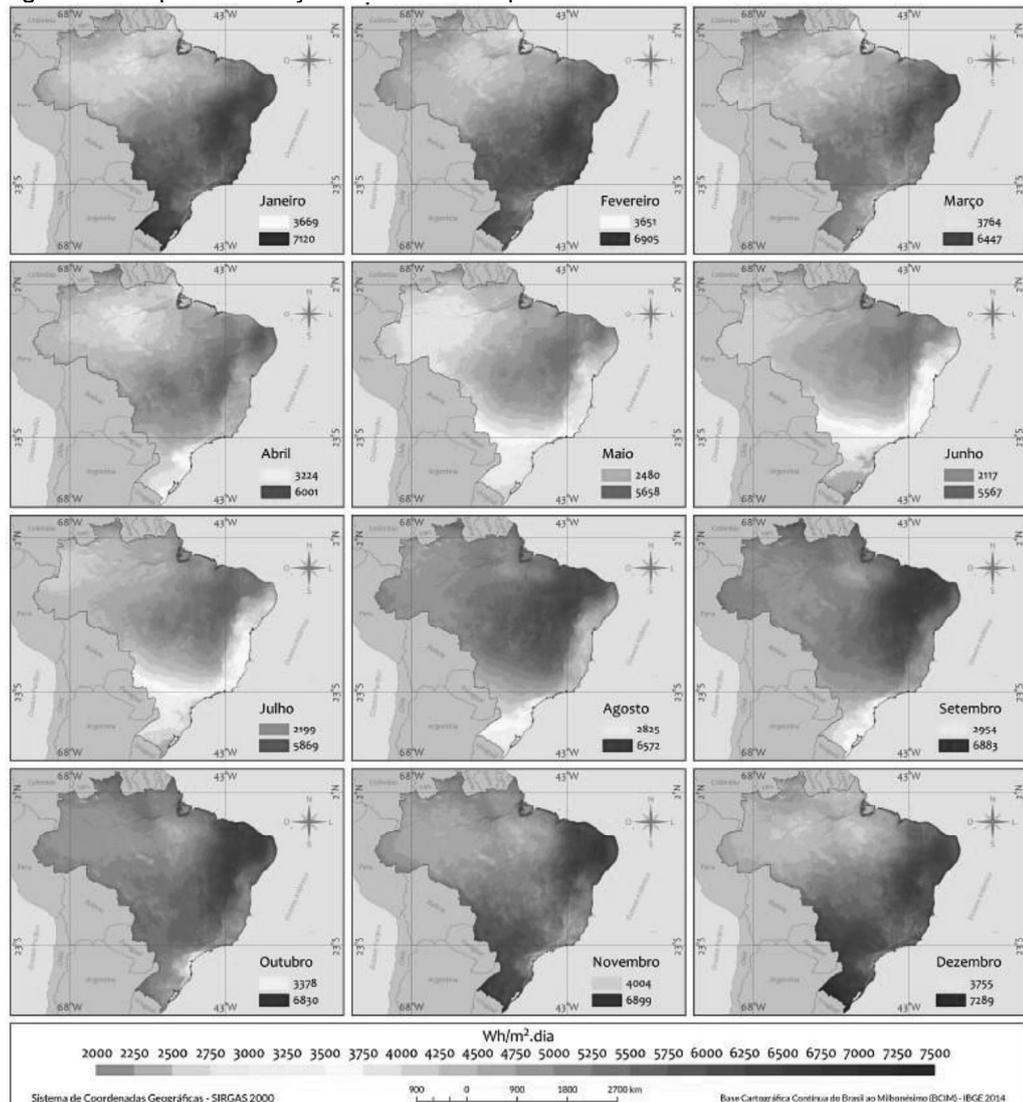


Fonte: CRESEB, 2000.

Os valores indicados para cada cor da legenda referem-se à quantidade de energia que é incidida em uma área de 1 m<sup>2</sup> durante um dia (MJ/m<sup>2</sup>.dia). É possível verificar que a região com maior índice solarimétrico é o nordeste e a com menor

índice é o sul do país. O cálculo entre a menor média anual e a maior média anual é parte relevante nos projetos fotovoltaicos, pois a resultante tem peso significativo na decisão de possuir ou não tal tecnologia (TIBA *et al.*, 2000). Portanto, é de grande importância conhecer e avaliar as possibilidades existentes para atuação dos sistemas solares.

Figura 7 - Mapa de radiação solar dividido pelas médias mensais em território nacional.



Fonte: PEREIRA *et al.*, 2017.

Como pode-se observar na Figura 7, o Brasil apresenta um alto potencial energético solar. Em Minas Gerais, que a incidência de radiação solar é alta, com índices maiores durante o verão, enquanto nos meses de temperaturas mais brandas os índices se tornam um pouco menores (PEREIRA *et al.*, 2017).

## 2.4. Células fotovoltaicas

As células solares fotovoltaicas são os principais componentes do sistema, elas consistem em um dispositivo eletrônico com a função de converter a energia luminosa, gerada pelos fótons do Sol, em energia elétrica (efeito fotovoltaico) (PINHO, 2014).

O Silício é o material semicondutor mais empregado para promover o efeito fotovoltaico. Atualmente, com o avanço do mercado de células fotovoltaicas, existem outros materiais que compõem as células fotovoltaicas. Os tipos mais comuns utilizados no Brasil, devido ao custo benefício, são as células de silício monocristalino e silício policristalino (PINHO, 2014).

As células são divididas em duas camadas, uma carregada positivamente e outra negativamente, formando uma junção eletrônica (ANEEL, 2008). Quando a radiação solar chega ao semicondutor (região de junção), o campo elétrico existente estabelece um fluxo eletrônico, formando energia na forma de corrente contínua. Quanto maior for a incidência de raios solares, maior será o fluxo de energia elétrica. É necessário ressaltar que não é preciso luz solar direta para que as placas operem, nos dias nublados é possível captar radiação solar, porém, em quantidades menores.

Os painéis são compostos por outros elementos que agem para a proteção das células solares devido a exposição às condições de intempéries. Por isso, há um grande rigor na fabricação dos painéis fotovoltaicos, para que seja possível garantir a sua durabilidade perante as adversidades (CRESEB, 2014). Na Figura 8, são mostrados os componentes de um painel fotovoltaico.



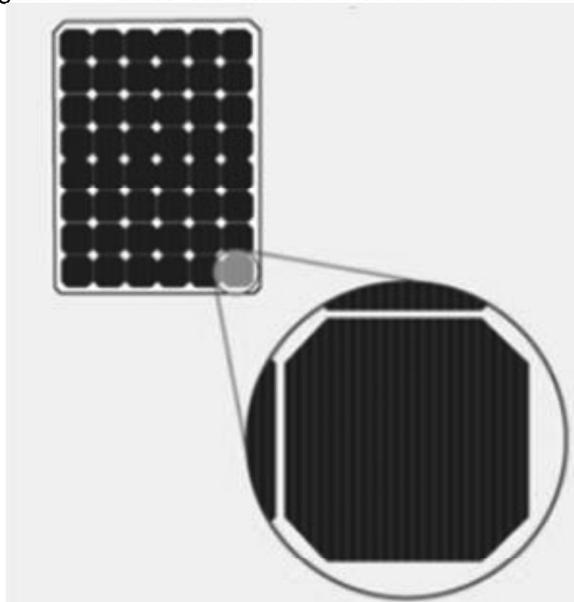
Fonte: CRESEB, 2014.

O painel é constituído, basicamente, por um vidro temperado de alta transparência resistente às intempéries e aos impactos, que tem a finalidade de proteger a célula fotovoltaica. As películas encapsulantes ou EVA (Etil-vinil-acetileno) possuem a função de isolamento térmico e, também, auxiliam na absorção de impactos, cujo amortecimento é proporcionado pela sua plasticidade. Por fim, tem-se a estrutura de suporte, geralmente, fabricada de alumínio que funciona como moldura para as células solares.

#### **2.4.1. Silício monocristalino (m-Si)**

As células de silício monocristalino, as primeiras a serem criadas, são compostas por uma estrutura cristalina e homogênea por todo painel. Inicialmente, tinham um potencial de 6% de conversão da radiação em energia elétrica e, nos dias atuais, este valor pode chegar próximo de 20%, chegando a 25% em estudos laboratoriais (CALAIA, 2011). A eficiência alta ocorre devido ao nível de pureza do silício ser aproximadamente 99,99%. Na Figura 9, é mostrado um painel de Silício monocristalino.

Figura 9 - Painel fotovoltaica de silício monocristalino.

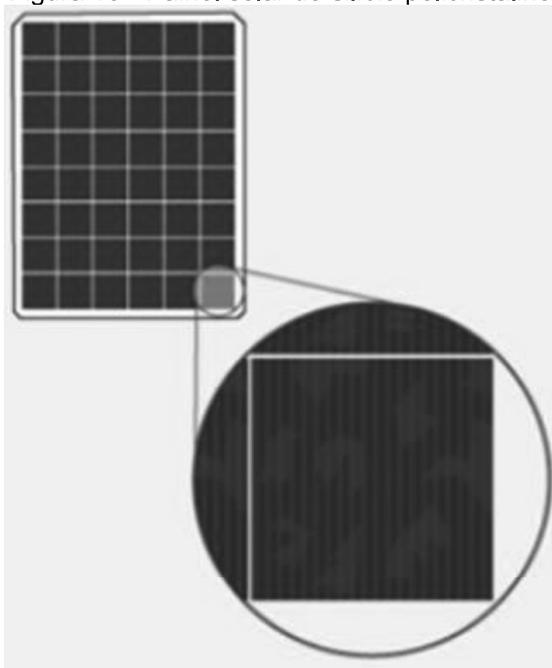


Fonte: Adaptado de PORTAL SOLAR, 2021.

#### **2.4.2. Silício policristalino (p-Si)**

Os painéis policristalinos não possuem grau de pureza alto como os monocristalinos, uma vez que elas são obtidas de barras de silício heterogêneo, ou seja, sua composição há alguns outros elementos. Este fato diminui a eficiência desses painéis, pois, o silício é responsável pela absorção da irradiação solar. Por outro lado, apresentam um baixo custo e eficiência média é de 15% sendo bastante difundidas no mercado. Estima-se que 90% do mercado utilizam esse tipo de célula que é responsável por 70% de toda eletricidade gerada a partir da energia Sol (GALDINO, 2014; ISE, 2017). Se o espaço não for um fator limitante, o uso dos painéis policristalinos é mais recomendável devido ao custo benefício. Na Figura 10, é mostrada a representação de um painel policristalino.

Figura 10 - Painel solar de silício policristalino.



Fonte: Adaptado de PORTAL SOLAR, 2021.

### **2.4.3. Silício amorfo (a-Si)**

Também conhecida como célula da segunda geração, os painéis de silício amorfo são obtidos pela adição de hidrogênio de baixa cristalinidade. A adição é necessária para constituição de uma estrutura cristalina. De acordo com GALDINO (2014) quanto mais alinhadas as moléculas de silício estiverem, maior será sua capacidade na conversão de energia solar em elétrica.

Sua eficiência tende a ser muito baixa, tendo capacidade máxima de 10%, entretanto, possui um alto custo devido a forma como é produzida (EL-GHONEMY, 2012). Na Figura 11, é mostrada uma placa de silício amorfo.

Figura 11 - Painel de silício amorfo.



Fonte: CALAIA, 2011.

#### **2.4.4. Filmes finos**

Os painéis finos, também, são considerados da segunda geração de células fotovoltaicas. Eles são obtidos pela deposição de filmes finos de silício sobre o vidro ou o metal, produzindo um produto final muito mais fino que outros tipos de painéis (RÜTHER, 2004).

Os materiais utilizados são o Disseleneto de Cobre e Índio (CIS), Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS) ou Telureto de Cádmiio (CdTe). Estes painéis tem grande potencial para ser o mais econômico e difundido do mercado, porém, os matérias que os compõem são de difícil obtenção e possuem risco de toxicidade (RÜTHER, 2004).

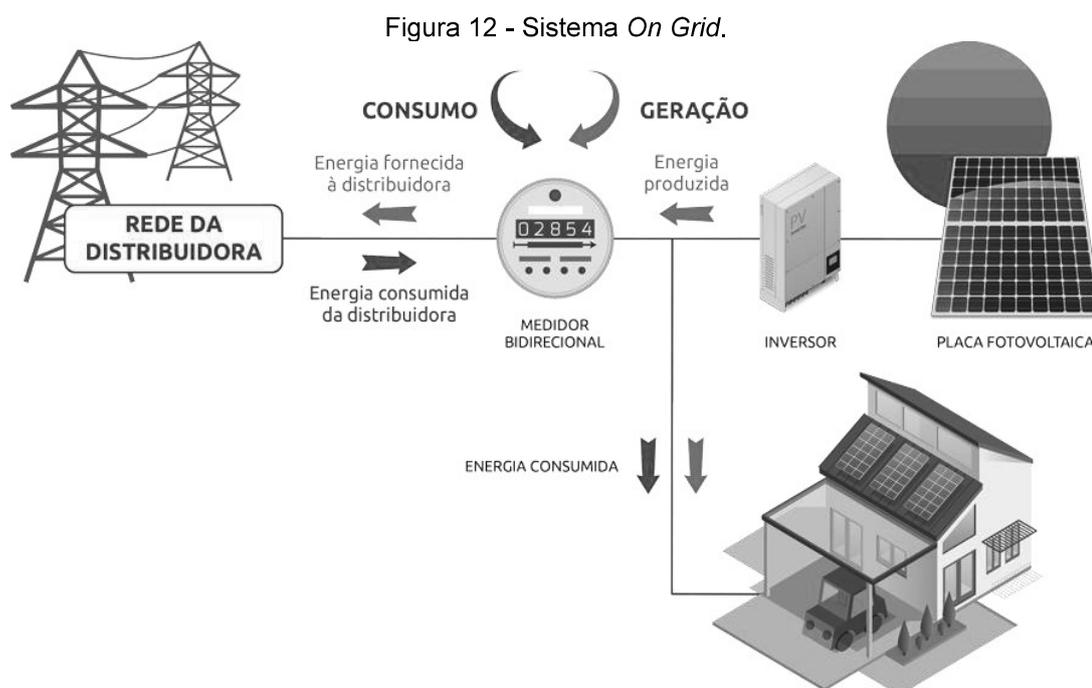
### **2.5. Tipos de sistemas fotovoltaicos**

Existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos, sendo definidos como geração centralizada ou distribuída. O primeiro é encontrado em locais distantes do consumidor e o segundo em locais próximos ao consumidor (ZAHEDI, 2006). Na geração distribuída podem ser implantados de duas formas diferentes: *on grid* ou *off grid*. O sistema *on grid* é regulamentado pela portaria nº 482 da ANEEL, de 17 de abril

de 2012. Já, o sistema *off grid* possui uma regulamentação prevista na portaria do IMETRO nº 357 de 2014 que garante a qualidade dos componentes necessários para a geração de energia solar.

### 2.5.1. Sistema on grid

O sistema *on grid* é conectado diretamente à rede de distribuição de energia elétrica. Como sistema está conectado à rede, pode funcionar de duas formas: consumindo energia produzida pelo painel ou fornecendo energia para a linha de distribuição. Quando o sistema fornece energia à rede são gerados créditos de energia ao consumidor que conseqüentemente ganha benefícios na tarifa de energia. Este crédito é válido para todos os padrões cadastrados no mesmo CPF (Cadastro de Pessoa Física) do gerador (CASTRO, 2008). A corrente contínua é transformada em corrente alternada ao passar pelo inversor (Figura 12).

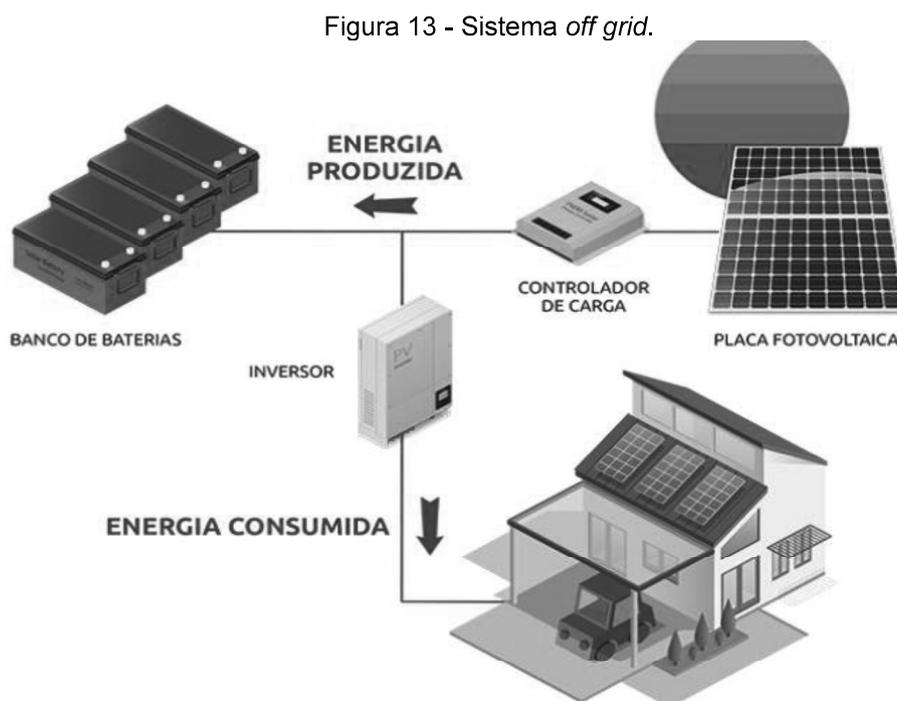


Fonte: INOVACARE SOLAR, 2017.

### 2.5.2. Sistema off grid

O sistema *off grid*, é caracterizado por ser do tipo isolado e age de forma independente da rede de distribuição, portanto, a energia gerada excedente não vira

crédito ao consumidor. Tal excedente pode ser armazenado em acumuladores de energia, como baterias (Figura 13). Este sistema não é tão comum e pode ser utilizado em locais onde a rede pública de energia não está disponível. Semelhante ao sistema *on grid*, também utiliza inversores, uma vez que os aparelhos domésticos utilizam corrente alternada para o seu Funcionamento (RÜTHER, 2004).



Fonte: INOVACARE SOLAR, 2017.

## 2.6. Uso de sistemas fotovoltaicos

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão responsável pela regulamentação de energia elétrica do Brasil, editou em 2012 a Resolução Normativa ANEEL nº 482 (2012). Nessa edição, foram estabelecidas as condições para acesso do consumidor à microgeração e minigeração distribuída, dando início ao sistema de compensação de energia, o qual a energia produzida distribuída na rede fosse abatida no consumo próprio e criando um sistema de compensação.

O sistema de compensação contempla apenas às micro e minigerações, ou seja, potência instalada de até 5 MW. Para valores acima é preciso passar por um leilão energético disponibilizado pela concessionária. Para fazer parte do sistema de compensação é necessário fazer o pedido à concessionária e comprar o material necessário. Para injetar energia à rede e ter acesso a essa compensação é necessário

que o sistema fotovoltaico tenha um inversor de corrente e um medidor bidirecional, normalmente fornecido pela concessionária (ANEEL, 2015).

Em 2015, os créditos gerados pela compensação passaram de 36 para 60 meses de validade e, também, podem ser usados em unidades consumidoras diferentes do mesmo titular, desde que a área seja da mesma concessionária (ANEEL, 2015).

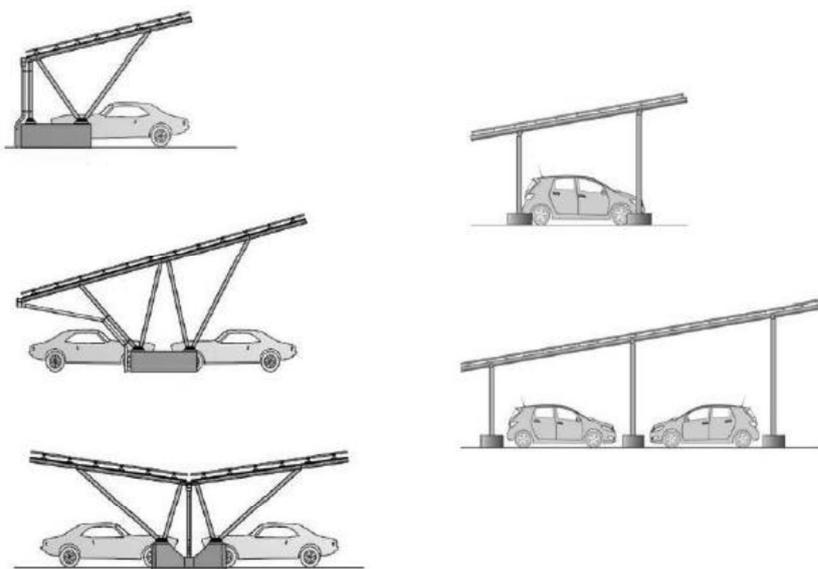
O sistema fotovoltaico possui alguns tipos de perdas. Os tipos que mais impactam os sistemas fotovoltaicos são as perdas em relação ao tempo de uso, a diferença entre as potências dos módulos e a disposição das placas em relação a irradiação solar. Segundo Rüter (2004), as perdas ocasionadas pela diferença entre as potências máximas dos módulos podem chegar até 10%.

## **2.7. Estacionamento fotovoltaico**

O estacionamento fotovoltaico, ou *carport*, são coberturas construídas a partir de painéis fotovoltaicos que são capazes de gerar energia elétrica e proteger os veículos contra às intempéries.

Segundo Richardson (2018), uma estrutura de *carport* é muito semelhante aos painéis instalados no solo. A diferença entre eles são a altura da estrutura, uma vez que necessitam de um espaço para que os carros possam ser estacionados. Em alguns casos de edificações de maior porte, a utilização de *carports* é mais aconselhada que a instalação de placas no telhado. Este fato está relacionado com a facilidade de definir a orientação correta dos painéis (ângulo de inclinação) e disponibilizar maior espaço para a instalação em comparação com telhado da edificação. O estacionamento com cobertura fotovoltaica pode ser implantado de diferentes formas. Na Figura 14, são mostrados os tipos mais comuns de estacionamentos com cobertura fotovoltaica.

Figura 14 - Tipos de estacionamentos com cobertura fotovoltaica.



Fonte: SCHLETTER, 2017.

A instalação do tipo de estacionamento é feita de acordo com a tipologia e formação das vagas. Em Montes Claros, no Max Min foi adotado um estacionamento com cobertura fotovoltaica. Segundo o presidente da Engie Solar, nos próximos 25 anos, o sistema solar do clube evitará a emissão de 4950 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (CICLO VIVO, 2018). Na Figura 15, é mostrado o estacionamento do Max Min Clube.

Figura 15 - Estacionamento fotovoltaico do Max Min Clube.



Fonte: CICLO VIVO, 2018.

## 2.8. Drenagem pluvial

A água é um dos principais recursos naturais para existência de vida no planeta. Independente do estado físico, ela está presente em diversos organismos. Além disso, é importante recurso para desenvolvimento socioeconômico de uma sociedade (MACÊDO, 2007). Porém, a água tem sido cada vez mais escassa em algumas regiões, onde o reuso pode ser uma alternativa para o problema.

O aproveitamento de água da chuva é uma prática usada há muito tempo pelo homem. Essa prática tinha diminuído devido à novas tecnologias de abastecimento. No entanto, o reuso de águas pluviais voltou a ser praticado amplamente por países desenvolvidos, os quais vêm procurando implantar soluções sustentáveis em todo empreendimento (BONA, 2014).

Segundo Guimarães *et al.* (2015), o uso da água pluvial é fator determinante para combater a escassez e reduzir a demanda sobre mananciais, sendo uma ótima fonte alternativa para fins não potáveis. O sistema de drenagem pluvial torna-se viável a toda edificação devido a facilidade de sua implantação. Anecchini (2005) relatou que água coletada pela cobertura durante a chuva é deslocada até um filtro e, posteriormente, armazenada em um reservatório. Caso o reservatório atinja o nível máximo de armazenamento, a água de chuva excedente é direcionada para infiltração no solo através de um tubo extravasor (ladrão). Tal sistema pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 - Sistema de reaproveito pluvial com infiltração no solo.



Fonte: Adaptado de ANNECCHINI, 2005.

A intensidade pluviométrica do local é calculada pela equação de intensidade, duração e frequência (IDF). A estimativa de chuvas intensas, com maior precisão, é importante para que o projeto hidráulico seja viável de um ponto de vista técnico e econômico (MELLO *et al.*, 2003). Intensidade e duração são inversamente proporcionais e a relação entre elas pode ser obtida da análise de registros pluviográficos. Dados de chuvas intensas são obtidos a partir destes registros, ou seja, diagramas de precipitação acumulada ao longo do tempo (GARCIA *et al.*, 2011).

## **2.9. Viabilidade econômica**

O sistema fotovoltaico apresenta alto custo de implantação que será compensado ao longo do tempo. Para verificar a viabilidade da implantação do projeto é necessário adotar indicadores econômicos. Os indicadores mais comuns e utilizados para analisar projetos são: VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno), *Payback* e ROI (Retorno do Investimento) (ROSS, 2015).

O *payback* é o período de retorno de um investimento, ou seja, em quanto tempo é obtido o valor financeiro da aplicação. Entretanto, é um tipo de análise muito básica e limitada, que não considera o valor em função do tempo, assim não há correção monetária não prevendo o risco do investimento (ROSS, 2015).

Para obter uma melhor conclusão, pode-se utilizar a TIR em conjunto com o *payback*. Esta análise consiste na rentabilidade gerada que resulta em VPL nulo e refere-se ao lucro líquido do investimento inicial que paga a vida útil do projeto. O indicador funciona como um ponto de equilíbrio econômico onde não há lucro ou prejuízo. O valor da TIR não sofre interferência do mercado ou de taxas de juros, depende apenas do fluxo de caixa. Se a taxa de desconto de um projeto for maior que a TIR, o mesmo deve ser rejeitado e caso a taxa for inferior é aconselhado que o projeto seja executado (ROSS, 2015).

## **3. METODOLOGIA**

O estudo avaliou a viabilidade de implantação dos estacionamentos fotovoltaicos com aproveitamento pluvial considerando a redução de energia elétrica e água potável no CEFET-Varginha, visando a sustentabilidade do campus.

### **3.1. Área de estudo**

O local de estudo foi a área localizada em frente ao primeiro prédio escolar que é utilizado como estacionamento de veículos da comunidade acadêmica do CEFET-Varginha. Devido às limitações, causadas pela pandemia, para realizações das medições topográficas do local, foi utilizado o software *Google Earth* (2021) para delimitação da área utilizada para alocação dos estacionamentos com cobertura fotovoltaica. O campus do CEFET encontra-se localizado na Avenida dos Imigrantes, nº 1000, no bairro da Vargem em Varginha/MG.

### **3.2. Dimensionamento do sistema fotovoltaico**

Foi realizado um pré-dimensionamento a partir do valor pago pelo consumo médio de energia do CEFET-Varginha e das informações do potencial de irradiação do local. O dimensionamento dos painéis fotovoltaicos foi realizado no software *PVSyst 7.2*, versão gratuita por tempo limitado (2021). Esta ferramenta consiste em um programa utilizado para realizar estudos, medições, simulações e análises desses sistemas. Os tipos de painéis foram definidos conforme os modelos disponíveis no mercado e a distribuição, angulação e representação dos mesmos foram apresentados por meio do software *Autocad versão estudante* (2019).

### **3.3. Estrutura do estacionamento fotovoltaico**

Os *carports* solares são alternativas viáveis para aproveitamento de áreas destinadas para construção de estacionamento com geração de energia solar fotovoltaica. Tal fato é justificado pelo aproveitamento do espaço para alocação dos painéis solares e pela redução dos custos com energia elétrica. A estrutura do estacionamento foi definida de acordo com os modelos pré-fabricados existentes no mercado.

### **3.4. Sistema elétrico**

Foi realizado o diagrama unifilar do sistema elétrico para o projeto fotovoltaico. O sistema elétrico consiste em cabos e disjuntores que irão levar a energia produzida até os pontos de utilização.

### 3.5. Dimensionamento do sistema de drenagem pluvial

A água pluvial incidente nos painéis será coletada e enviada para dois reservatórios de água pluvial. Para tanto, foi realizado o dimensionamento das calhas, dos condutores (vertical e horizontal) e dos reservatórios de água pluvial. Essa água será utilizada para rega dos jardins do campus. O dimensionamento do sistema foi realizado de acordo com a ABNT NBR 10844:1989. A intensidade pluviométrica de Varginha foi calculada por meio da eq. (1) de IDF, sendo os coeficientes obtidos por meio do software Pluvio 2.1 (Versão gratuita UFV).

$$I = \frac{kT^a}{(t + b)^c} \dots \dots \dots (1)$$

Onde: I = intensidade média da precipitação intensa, mm/h; T = período de retorno, anos; t = duração da precipitação, mm; k, a, b, c = coeficientes de ajuste locais.

A eq. (2) utilizada para determinar a vazão de projeto das calhas foi retirada da NBR 10844.

$$Q = \frac{IA_c}{60} \dots \dots \dots (2)$$

Onde: Q = vazão de projeto; I = intensidade média da precipitação intensa, mm/h; Ac = área de contribuição da cobertura.

### 3.6. Viabilidade econômica

Após o dimensionamento, foi realizado o levantamento dos custos, do rendimento energético e do tempo de retorno que o CEFET irá obter com o projeto. Nesse estudo foi utilizado os indicadores *payback* e TIR que irão indicar a viabilidade ou não da implantação dos estacionamentos fotovoltaicos com aproveitamento pluvial no campus. Além disto, foi feito uma análise sobre o desconto no valor pago na conta de água em função da utilização da água de chuva.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O local de estudo para implantação dos estacionamentos fotovoltaicos ocupa 54.981 m<sup>2</sup> e as coordenadas geográficas são: 21°32'57" S de latitude e 45°25'9" O de longitude.

O projeto contemplou dois estacionamentos próximos ao primeiro prédio escolar. O local foi escolhido em função do melhor posicionamento em relação ao ângulo de orientação dos painéis. Tal ângulo é voltado para a norte geográfico no hemisfério sul e ao longo do dia, o Sol varia os ângulos azimutais. Então, a instalação correta dos painéis fotovoltaicos deve considerar o movimento que o Sol realiza de forma a otimizar a captação da luz solar. Na Figura 17, são mostradas as dimensões de cada face do local de implantação dos estacionamentos fotovoltaicos.

Figura 17 - Comprimento das faces do local destinado ao projeto.

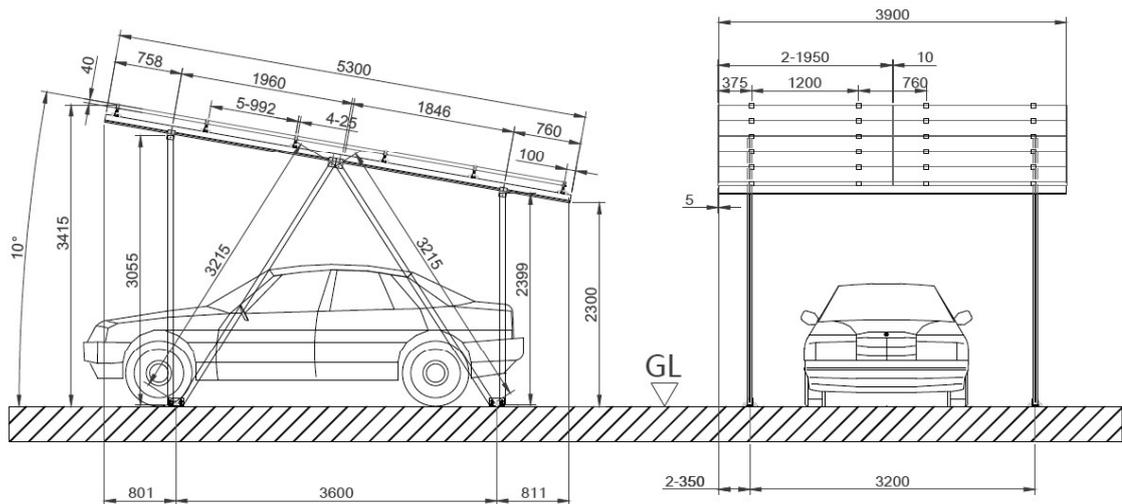


Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH, 2021.

O estacionamento demarcado pela cor vermelha foi denominado como 1 e o demarcado pela cor azul como 2. Suas áreas foram estimadas usando o software *Google Earth*, as quais obtiveram valores de 224,78 m<sup>2</sup> e 245,23 m<sup>2</sup> para os estacionamentos 1 e 2, respectivamente. Os comprimentos de cada face foram mensurados por meio da exportação de dados do software *Google Earth*, em escala, para software *Autocad 2019*.

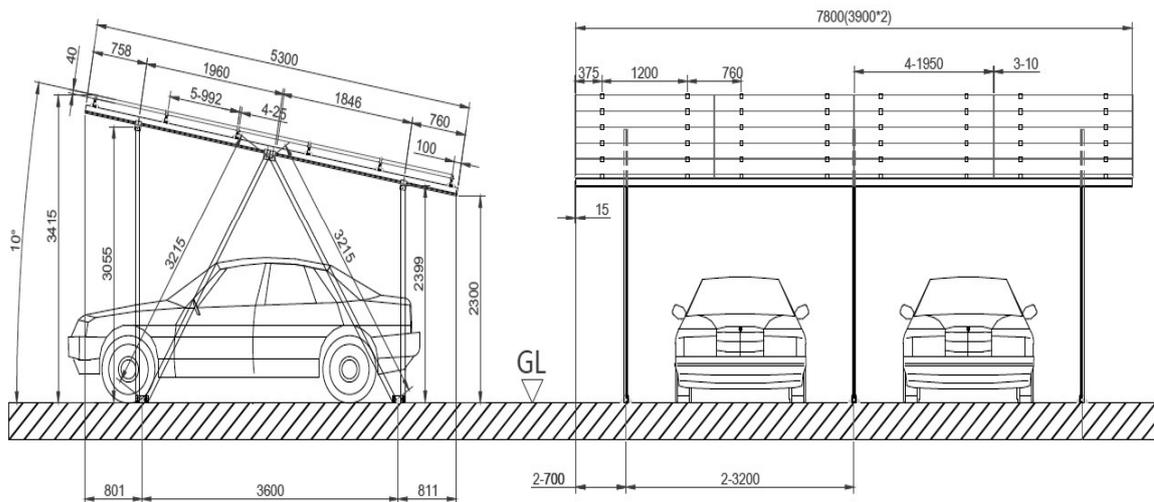
Para a análise da implantação do estacionamento fotovoltaico do CEFET-MG, foram selecionadas as estruturas pré-fabricadas com uma e duas vagas da marca MS Energia Solar. Nas Figuras 18 e 19 são mostradas as dimensões desses tipos de estruturas pré-fabricadas.

Figura 18 - Projeto da estrutura pré-fabricadas para uma vaga (simples).



Fonte: MS ENERGIA SOLAR, 2021.

Figura 19 - Projeto da estrutura pré-fabricadas para duas vagas (duplo).



Fonte: MS ENERGIA SOLAR, 2021.

A disposição do estacionamento consistiu em cinco estruturas pré-fabricadas duplas e uma simples para o estacionamento 1 e seis estruturas duplas para o estacionamento 2 (Tabela 1).

Tabela 1 - Estruturas dos estacionamentos.

Estrutura	Estacionamento Fotovoltaico 1	Estacionamento Fotovoltaico 2
Duas vagas	5	6
Uma vaga	1	-

Nas Figuras 20 e 21, são mostradas as dimensões (comprimento e largura) do local escolhido para alocação das estruturas para os estacionamentos fotovoltaicos 1 e 2.

Figura 20 - Área útil do estacionamento fotovoltaico 1.

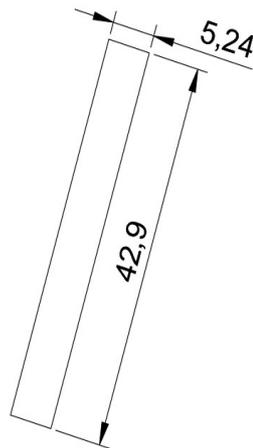
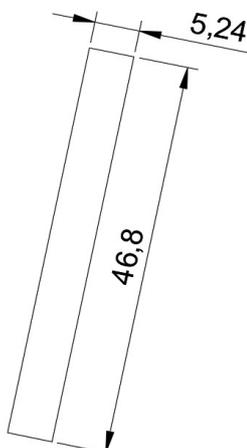


Figura 21 - Área útil do estacionamento fotovoltaico 2.



Embora, apresentam facilidade na montagem, as estruturas pré-fabricadas apresentam inclinação dos painéis fotovoltaicos fixado em 10% o que causa uma perda de rendimento energético. Para o maior rendimento o ângulo de inclinação deve ser definido conforme o grau da latitude local. Este fato pode ser contornado por meio da inserção de painéis fotovoltaicos com potência maior.

A partir da latitude e da longitude do local é realizado uma estimativa da capacidade de aproveitamento de energia solar local. Por meio das coordenadas locais, 21°32'57''S de latitude e 45°25'90''O de longitude, foi obtido o valor de 5,12 kWh/m<sup>2</sup>.dia de irradiação solar média. Esse dado foi obtido no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESEB, 2021). Na Figura 22, são apresentados os valores de irradiação solar diária média, ao longo do ano, para a cidade de Varginha.

Figura 22 - Dados da irradiação solar diária do CEFET-MG unidade Varginha.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Varginha  
Município: Varginha, MG - BRASIL  
Latitude: 21,5° S  
Longitude: 45,449° O  
Distância do ponto de ref. ( 21,5° S; 45,46915° O ): 2,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,49	5,70	4,85	4,59	3,95	3,76	4,01	4,86	5,08	5,37	5,22	5,59	4,87	1,94
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	22° N	4,98	5,43	4,96	5,15	4,83	4,83	5,07	5,73	5,40	5,23	4,79	5,00	5,12	,94
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	5,01	5,46	4,96	5,14	4,80	4,79	5,03	5,71	5,40	5,25	4,82	5,03	5,12	,91
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	22° N	4,98	5,43	4,96	5,15	4,83	4,83	5,07	5,73	5,40	5,23	4,79	5,00	5,12	,94

Fonte: CRESEB, 2021.

No site da CRESEB são apresentados os valores de irradiação para as três estações meteorológicas mais próximas das coordenadas geográficas do local. No caso do projeto, a estação meteorológica mais próxima fica a 6,30 Km. Em locais sem ocorrência de sombreamento, a definição da inclinação do painel é próxima ao ângulo de latitude local (JÚNIOR *et al.*, 2017). Para Varginha, os dados de irradiação diário médio ao longo do ano foram apresentados na latitude de 22° N. Devido a localização geográfica do estacionamento, os painéis fotovoltaicos não serão posicionados diretamente para o Norte o que causa perdas de rendimento provenientes do ângulo azimutal.

Foi fornecido pela instituição que o gasto mensal médio com o consumo de energia é de R\$ 5.390,00 para o ano de 2021. Com este valor e considerando o valor

da tarifa vermelha II da concessionária CEMIG, que custa R\$ 0,71 Kwh/h, foi estimado o consumo de energia mensal do campus.

$$\text{Consumo mensal} = \frac{5390}{0,71} = 7591 \text{ kWh/mensal}$$

$$\text{Consumo diário} = \frac{7591}{30} = 253 \text{ kWh/dia}$$

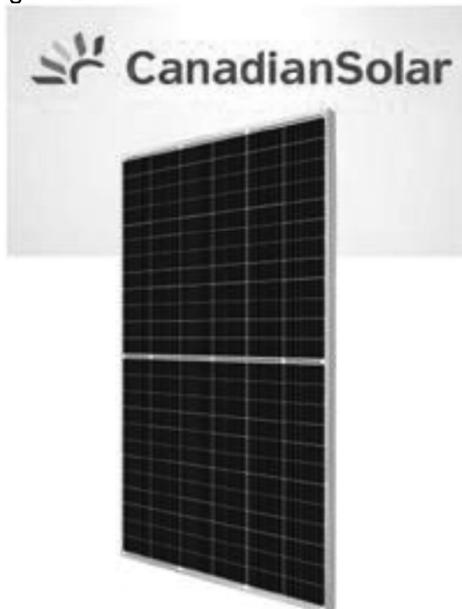
Com o valor estimado para o consumo diário e o índice médio de irradiação solar foi calculado a potência necessária em KWp (kilowatts pico) para o pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico. O KWp é uma unidade de potência específica de sistemas fotovoltaicos que está relacionada com capacidade máxima do painel sob condições ideais de funcionamento (temperatura da célula de 25°C; massa de ar de 1,5 kg).

$$\text{Potência necessária} = \frac{253}{5,12} = 49,41 \text{ kWp}$$

Foi obtido um valor de 49,41 kWp para o sistema. Cabe ressaltar que para o pré-dimensionamento não foi levado em consideração as perdas do sistema, sendo necessário dimensioná-lo com uma potência superior para que seja possível suprir toda a demanda atual. Porém, no campus já foi implantado um sistema fotovoltaico no terceiro pavilhão de aulas, construído no ano de 2019, com previsão de suprir 50% da energia consumida no campus. Ademais, como se trata de uma instituição de ensino com diversos campus, a energia excedente a demanda do campus gera créditos com validade de 60 meses e poderiam, também, ser usadas em outros campi neste período.

O painel solar escolhido foi o modelo CS3W-435P da empresa Canadian Solar fabricado em silício monocristalino (Figura 23). Embora, o seu custo seja maior, esse painel possui um rendimento superior as placas convencionais de policristalino, sendo possível alcançar valores acima de 20%. A marca Canadian Solar é uma das mais conhecidas no Brasil sendo certificada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO com classificação “A”.

Figura 23 - Placa fotovoltaica CS3W-435P.



Fonte: CANADIAN SOLAR, 2019.

Na Tabela 2, são mostradas as especificações do painel fotovoltaico do modelo CS3W-435P da empresa Canadian Solar.

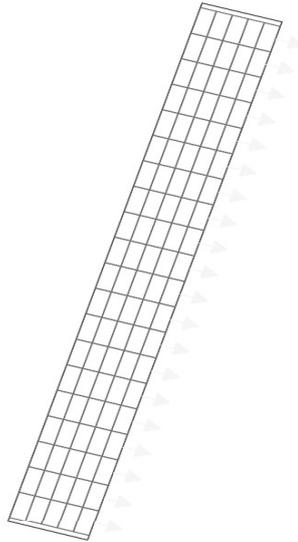
Tabela 2 - Especificações básicas da CS3W-435P.

<b>DADOS DA PLACA FOTOVOLTAICA CS3W-435P</b>	
Potência Máxima (P <sub>máx</sub> )	435 W
Tipo de células	Monocristalino
Dimensões (CxLxA) (mm)	2108x1048x40
Tolerância da potência	± 5%
Eficiência do módulo	19,70%

Fonte: adaptado de CANADIAN SOLAR, 2021.

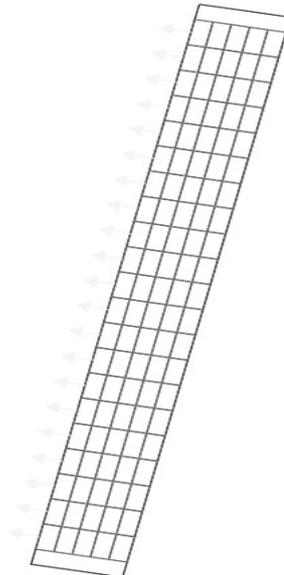
As dimensões do painel foram colocadas no software *AutoCAD 2019* para estimar a quantidade de placas que podem ser instaladas na estrutura dos estacionamentos fotovoltaicos pré-fabricados. Para o estacionamento 1, com área de 42,90 m x 5,24 m para a instalação, foi possível instalar no máximo 5 fileiras com 20 módulos, totalizando 100 painéis, havendo uma folga de 0,37 m do painel até a extremidade final da estrutura pré-fabricada. Na Figura 24, é mostrado a disposição dos painéis fotovoltaicos sobre a área do estacionamento fotovoltaico 1.

Figura 24 – Disposição máxima das placas no estacionamento 1.



O estacionamento 2 é um pouco maior, com área de 46,80 m x 5,24 m. Sendo assim, foi possível instalar no máximo 5 fileiras com 22 placas, totalizando 110 módulos. Na Figura 25, é mostrado a disposição dos painéis fotovoltaicos sobre a área do estacionamento fotovoltaico 2.

Figura 25 – Disposição máxima das placas no estacionamento 2.



Conforme visto, nas Figuras 24 e 25, a cor azul é a área da estrutura pré-moldada, a cor vermelha são os módulos fotovoltaicos e as setas amarelas representam o sentido de orientação dos painéis. Com a quantidade de painéis foi

determinado o valor total de energia nominal gerada no sistema fotovoltaico para os estacionamentos.

Para o estacionamento 1, teremos:

$$Potência\ Total = n^{\circ}_{paineis} * Potência_{máxima} = 100 \times 435 = 43,50\ kWp$$

Para o estacionamento 2, teremos:

$$Potência\ Total = n^{\circ}_{paineis} * Potência_{máxima} = 110 \times 435 = 47,85\ kWp$$

As potências nominais foram de 43,5 kWp e 47,85 kWp para os estacionamentos 1 e 2, respectivamente. Com os valores foi possível definir o inversor que irá transformar a corrente contínua em alternada. Sendo assim, foi escolhido um inversor da marca ABB e modelo UNO-8.6-OUTD-US-S-A em função da compatibilidade com os painéis da Canadian Solar que é responsável por perdas de carga menores. Neste caso o valor estimado para a perda de carga é baixo, isto é, em torno de 2,5%. Tal modelo apresenta potência nominal de 8,6 KW. Na Figura 26, é mostrado o inversor da ABB.

Figura 26 – Inversor escolhido.



Fonte: ABB, 2014.

Com o modelo foi possível determinar a quantidade necessária de inversores para os estacionamentos.

Para o estacionamento 1, teremos:

$$Quantidade_{inversores} = \frac{Potência_{total}}{Potência_{inversor}} = \frac{43,50}{8,60} = 5,05 \approx 5 \text{ unidades}$$

Para o estacionamento 1, teremos:

$$Quantidade_{inversores} = \frac{Potência_{total}}{Potência_{inversor}} = \frac{47,85}{8,60} = 5,56 \approx 5 \text{ unidades}$$

Verificou-se a necessidade de 5 inversores para cada estacionamento, afim de suprir toda geração energética. O Inversor deve ser dimensionado de forma a garantir as necessidades das cargas em corrente alternada. Nos sistemas fotovoltaicos as cargas podem ser um pouco mais elevadas, para no caso de existir um aumento do consumo futuro não ter que substituir o inversor. Nesta etapa, foi determinado o arranjo da ligação entre os painéis, o número de strings em paralelo por inversor e o número de painéis em série por strings.

Para cada inversor do estacionamento 1, foi colocado 2 strings, cada uma contendo 10 módulos fotovoltaicos em série. O estacionamento 2, foi dimensionado de forma semelhante ao primeiro, com exceção que cada strings foi colocado 11 módulos fotovoltaicos em série. Com as strings e os módulos em séries foi realizado a definição dos dispositivos de proteção e dos diâmetros dos cabos.

Analisando o manual das placas fotovoltaicas foi visto que a amperagem máxima de operação para cada strings é de 11,35 A. Como temos duas strings em paralelo, a amperagem do circuito será de 22,70 A. Portanto, foi selecionado um disjuntor de 25 A. De acordo com a ABNT NBR 5410:2004, a amperagem que o cabo resiste deve ser maior que a do disjuntor, logo, foi escolhido um cabo de 4 mm<sup>2</sup> de diâmetro, que segundo a escala métrica, presente na norma, suporta até 28 A.

A amperagem máxima na saída do inversor foi determinada em 36 A, conforme manual, e foi recomendado usar um disjuntor de 50 A. Como dispositivo de proteção, e analisando a tabela métrica de forma análoga ao passo anterior, foi obtido um cabo 16 mm<sup>2</sup> de diâmetro, que segundo a ABNT NBR 5410:2004 suporta até 68 A. Com as

informações supracitadas, foi possível montar o diagrama unifilar da ligação do sistema. Nas Figuras 27 e 28, são mostrados os diagramas unifilares para os estacionamentos 1 e 2, respectivamente.

Figura 27 - Diagrama unifilar para inversores do estacionamento 1.

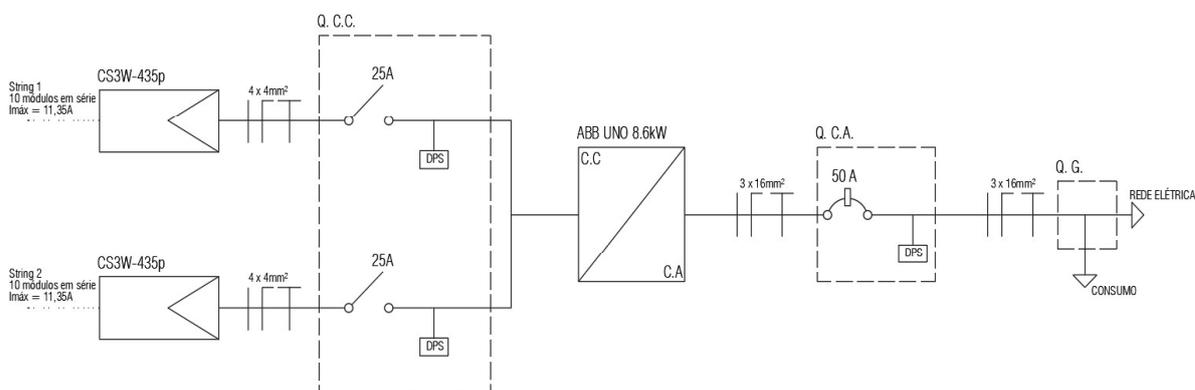
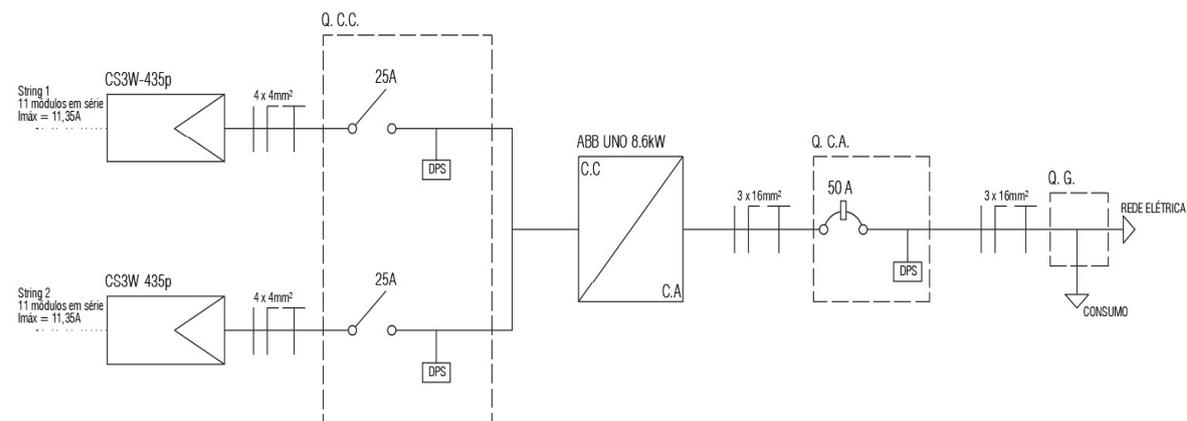


Figura 28 - Diagrama unifilar para inversores do estacionamento 2.



Após a definição da marca e modelo dos painéis e inversores foi feito a simulação para verificação do pré-dimensionamento do sistema usando o software *PVSyst 7.2*. Tal programa permite fazer simulações de sistemas fotovoltaicos, gerando análises do potencial de geração, do fator econômico e das perdas de energia.

As informações iniciais pedidas no programa são a orientação dos painéis e o local de instalação. Com a inserção dos dados é realizada uma análise sobre os índices de irradiação. Nas Figuras 29 e 30, são mostrados o campo para inserção dos

parâmetros de inclinação do plano definido pelo tipo de estrutura e o ângulo azimutal que consiste no ângulo de orientação entre os painéis e o norte geográfico.

Figura 29 - Dados de entrada para o estacionamento 1.

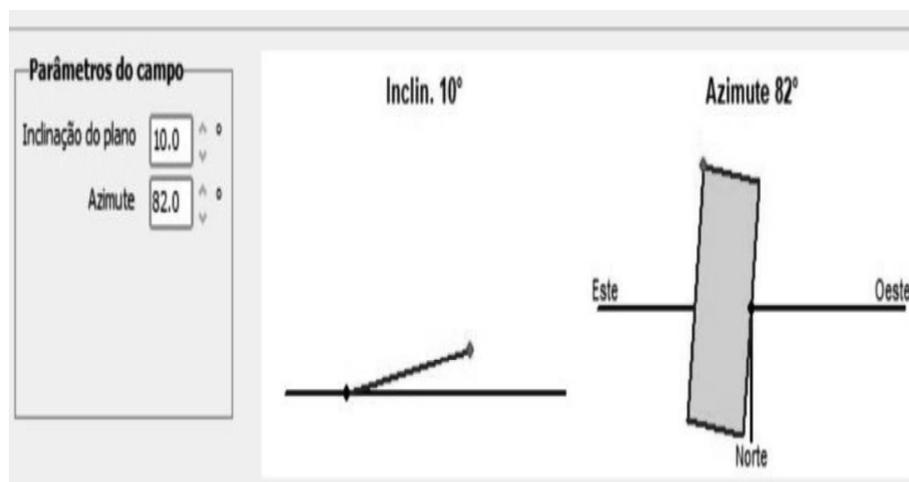
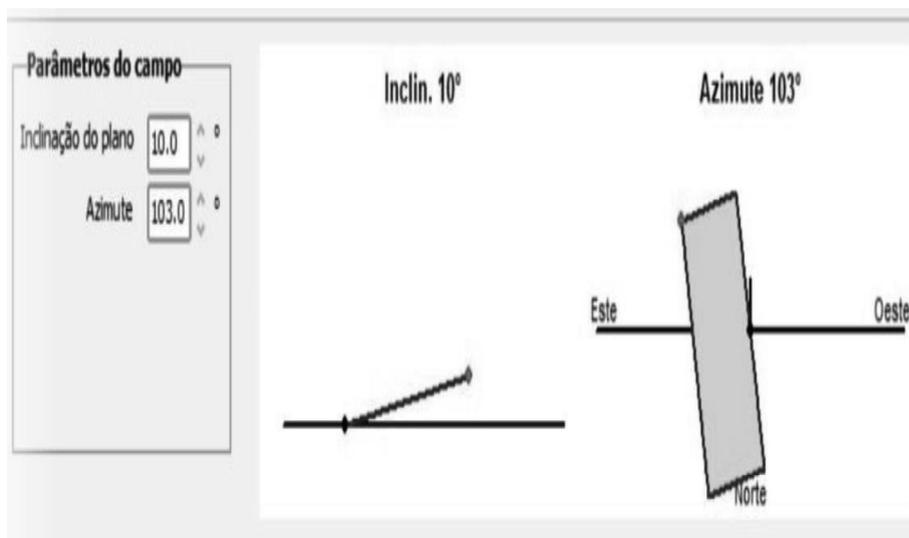


Figura 30 - Dados de entrada para o estacionamento 2.



Após a inserção dos parâmetros de campo no software foi possível analisar a trajetória do Sol no local pelo diagrama apresentado pelo software. Essa trajetória está relacionada com a inclinação do painel e o com o ângulo azimutal. Nas Figuras 31 e 32, são mostradas a trajetória solar em relação aos estacionamentos 1 e 2.

Figura 31 - Trajetória solar em Varginha (diagrama altura/azimute) para o estacionamento 1.

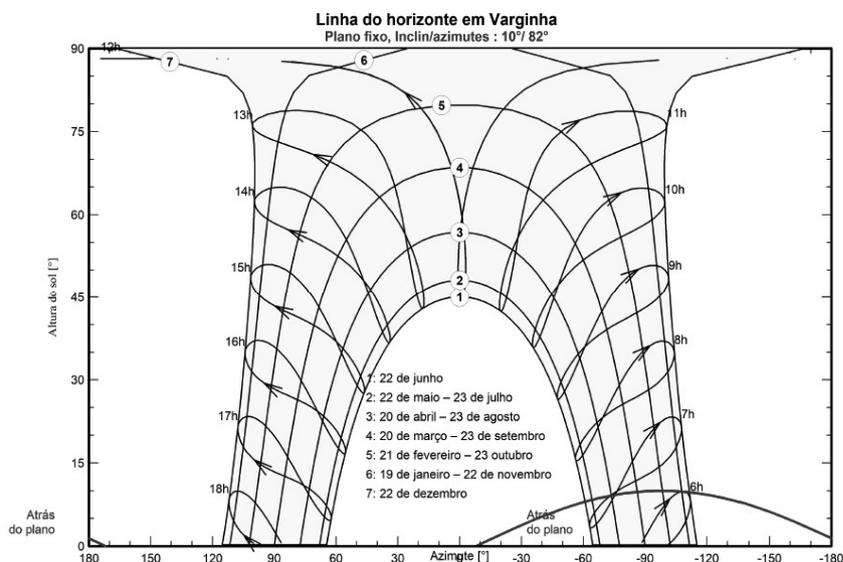
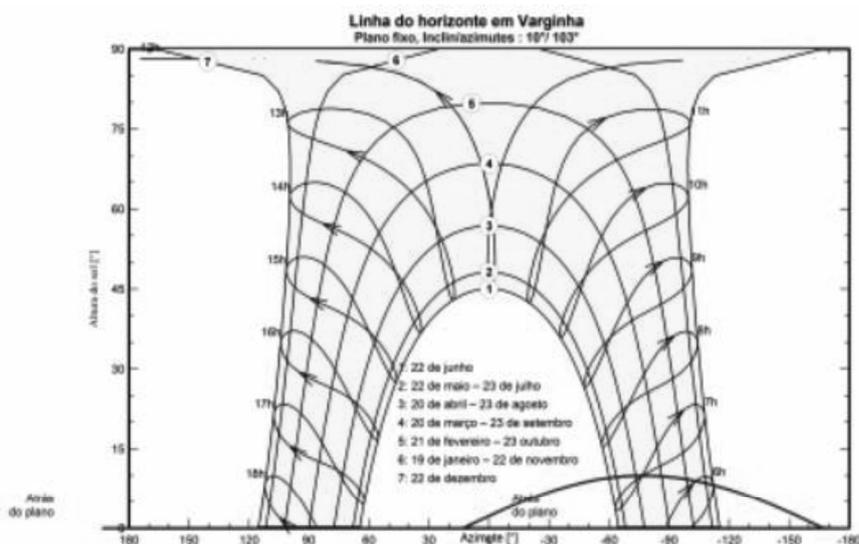


Figura 32 - Trajetória solar em Varginha (diagrama altura/azimute) para o estacionamento 2.



É possível verificar que as trajetórias são semelhantes, portanto, foi feito somente uma análise para as duas trajetórias. Os horários que ocorreram maior incidência solar foi entre 10:00 h e 14:00 h e os meses com maior irradiação foram entre outubro e fevereiro. Esses meses incluem a época mais quente no hemisfério sul, uma vez que o verão ocorre no período de 21 de dezembro até 20 de março.

A próxima etapa do dimensionamento foi inserir no software com os dados das especificações das placas solares e dos inversores definidos anteriormente. Os modelos escolhidos para o painel fotovoltaico e o inversor foram CS3W-435P e UNO-

8.6-OUTDO, respectivamente. No programa é fornecido uma biblioteca com dados de módulos solares e inversores comuns no mercado. Na Figura 33, é mostrado a tela de seleção do programa com as informações da placa e do inversor escolhido.

Figura 33 - Definição dos equipamentos no PVSyst.

The screenshot shows two main sections in the PVSyst software:

- Seleção do módulo FV:**
  - Disponíveis: [Dropdown]
  - Filtro: Todos os módulos FV [Dropdown]
  - Manufacturer: CSI Solar [Dropdown]
  - Specifications: 435 Wp 34V Si-poly CS3W-43SP SE Desde 2019 Manufacturer 2020 [Dropdown]
  - Utilizar otimizador:
  - Dimens. das tensões: Vmpp (60°C) 35.0 V
  - Vco (-10°C) 53.6 V
- Seleção do inversor:**
  - Disponíveis: [Dropdown]
  - Tensão de saída: 240 V Mono 60Hz [Dropdown]
  - 50 Hz  60 Hz
  - Manufacturer: ABB [Dropdown]
  - Specifications: 8.6 kW 120 - 530 V 60 Hz UNO-8.6-OUTD-US-S-A (240V) Desde 2015 [Dropdown]
  - N.º de inversores: 5 [Spinner]
  - Utilize multi-MPPT:
  - Tensão de funcionamento: 120-530 V Potência global inv. 43.0 kWca
  - Tensão máxima entrada: 600 V inversor com 2 MPPT

Após a seleção do painel e do inversor, foi definido o arranjo que permitiu o maior número de placas para os espaços disponíveis na estrutura dos estacionamentos 1 e 2. Nas Figuras 34 e 35, foram mostrados o número de módulos e strings definidos para os dois estacionamentos.

Figura 34 - Dimensionamento do estacionamento 1.

The screenshot shows the 'Número de módulos e strings' (Number of modules and strings) configuration window:

- Mod. em série: 10 [Spinner]  entre 4 et 11
- Nr. strings: 10 [Spinner]  única possibilidade 10
- Perdas sobre-pot. 0.0 %
- Rácio Pnom 1.01
- Ver dimension. [Button]
- Nº de módulos: 100**
- Superfície: 221 m<sup>2</sup>**

Figura 35 - Dimensionamento do estacionamento 2.

**Dimensionamento do grupo**  
**Número de módulos e strings**

Mod. em série: 11  entre 4 et 11

Nr. strings: 10

Perdas sobre-pot. 0.0 %  
 Rácio Pnom 1.11

Ver dimension.

**Nº de módulos 110 Superfície 243 m<sup>2</sup>**

Para o estacionamento 1, foi definido um arranjo de 10 módulos em série com 10 strings distribuídos em 5 inversores. Nessa disposição foi possível instalar o máximo de placas que a estrutura suporta. Nesta configuração não ocorreram perdas de potência, sendo o valor estimado igual a zero. No estacionamento 2 foi definido um arranjo com 11 módulos em série com 10 strings distribuídos em 5 inversores. As perdas de potência do sistema foram, também, iguais a zero.

Após a definição dos arranjos para cada estacionamento, foi calculado a potência nominal de geração (Figuras 36 e 37). A potência total instalada nos dois estacionamentos foi de 91,4 kWp.

Figura 36 - Resumo do estacionamento 1.

**Resumo do sistema global**

Número de módulos	100
Superfície módulos	221 m <sup>2</sup>
N.º de inversores	5
Potência nominal FV	43.5 kWp

Figura 37 - Resumo do estacionamento 2.

**Resumo do sistema global**

Número de módulos	110
Superfície módulos	243 m <sup>2</sup>
N.º de inversores	5
Potência nominal FV	47.9 kWp

Ao final do dimensionamento, é gerado um relatório detalhado com as informações do projeto de instalação dos painéis fotovoltaicos nos dois estacionamentos. Nesse documento foi mostrado a geração anual de energia, sendo as energias produzidas de 69,54 MWh/ano e 74,32 MWh/ano, para os estacionamentos 1 e o 2, respectivamente. O relatório encontra-se nos Anexos E e D.

Com o tempo, os painéis fotovoltaicos perdem eficiência. É estimado, que no primeiro ano, seu rendimento tenha um decréscimo de 1,5% da produção e 0,5% ao longo dos demais anos (RÜTHER, 2004). Este fator será considerado para a análise de viabilidade econômica do projeto. Outro tipo de perda, considerado no sistema foi devido à disposição das placas fotovoltaicas, ou seja, quando o ângulo de inclinação diferentes é diferente do ângulo de latitude do local. Há, também, as perdas devido à orientação dos painéis em relação ao norte, porém, esse dado já foi considerado no dimensionamento do sistema.

Outro ponto importante na instalação de painéis fotovoltaico é a viabilidade do projeto. Para tanto, é preciso calcular o custo total do sistema fotovoltaico e da estrutura pré-moldada. Esse dado foi obtido por meio da consulta na empresa Portal Solar que forneceu um orçamento do custo do sistema fotovoltaico planejado e dos valores das placas, dos inversores, dos materiais elétricos (cabos, disjuntores, conexões) e da mão de obra para instalação. Já, o valor da estrutura metálica foi obtido com a empresa MS Energia Solar, enquanto, a mão de obra para instalação foi calculada de acordo com a tabela SINAPI-MG (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices de Minas Gerais) que indicou o valor médio de um profissional de serralheria por metro quadrado. Na Tabela 3, é apresentado o valor de cada item com o seu custo total para o empreendimento.

Tabela 3 - Custo total da obra.

Item	Descrição	Quantidade	Custo
Sistema Fotovoltaico	Placa CS3W-435P	210	R\$ 209.790,00
	Inversor UNO 8.6	10	R\$ 161.536,00
	Materiais elétricos, instalação e frete	-	R\$ 84.554,31
Estrutura Estacionamento	Estrutura para estacionamento	12	R\$ 77.232,75
	Instalação da estrutura	-	R\$ 7.343,75
<b>Custo Total</b>			<b>R\$ 540.456,81</b>

O custo total final do projeto foi de R\$ 540.465,81, sendo esse valor referente ao ano de 2021. O sistema fotovoltaico apresentou o maior percentual do total orçado,

ou seja, 84% do custo final da obra. A escolha dos painéis deve ser realizada de forma minuciosa, sempre atrelando o preço a qualidade do produto.

Para verificar o retorno dos custos, utilizou-se os cálculos do *payback* e TIR, no qual foi considerado o preço atual da tarifa da concessionária da CEMIG. Esse valor foi de R\$0,71 para bandeira vermelha II que consiste na pior hipótese de consumo. Conforme apresentado no Anexo F, o cálculo do *payback*, mostrou, na cor vermelha, o ano com saldo positivo, sendo este, o ponto onde o projeto começa a dar retorno ao usuário. Foi observado que o retorno ocorreu no mês 65 após a instalação do projeto, demorando em torno de 5 anos para a ser lucrativo. Na Tabela 4, é apresentado as informações sobre a viabilidade econômica do projeto.

Tabela 4 - Resumo da viabilidade econômica.

<b>Custo Total</b>	R\$ 540.456,81
<b>Valor gerado após 25 anos</b>	R\$ 2.392.179,58
<b>Saldo após 25 anos</b>	R\$ 1.851.722,77
<b>Retorno</b>	65 meses
<b>TIR à 10 anos</b>	13%
<b>Energia produzida em 25 anos</b>	3355,23 MWh

O TIR com um retorno de 10 anos é de 13%. Essa taxa é considerada mediana se comparada aos investimentos de alto risco, entretanto para o investimento com alto grau de confiabilidade é um bom valor (ROSS, 2015).

Após as análises acerca do sistema fotovoltaico, foi dimensionado um sistema de captação de águas pluviais com destinação a usos não potáveis, afim de aumentar a sustentabilidade do projeto. A NBR 15527:2007 estabelece as diretrizes de projeto e dimensionamento de um sistema de aproveitamento da água de chuva fins não potáveis.

Para o dimensionamento do sistema, primeiramente, foi calculado a área de contribuição de água pluvial, que foi igual à área total ocupada pelos painéis fotovoltaicos. O cálculo da área levou em consideração a inclinação dos painéis em relação aos raios solares que por sua vez estarão direcionadas perpendicularmente à precipitação. Sendo assim, foram obtidas as áreas de 221 m<sup>2</sup> e 243 m<sup>2</sup>, para os estacionamentos 1 e 2, respectivamente. Posteriormente, foi definida a vazão de projeto e o período de retorno. Segundo Tomaz (2010), para coberturas o período de retorno é definido em 5 anos que se refere a locais que a inundação e o alagamento são toleráveis. O índice pluviométrico de Varginha foi determinado por meio das

informações retiradas do software Pluvio 2.1 e pela equação IDF (intensidade e frequência da precipitação). Com o valor da intensidade pluviométrica foi calculado a vazão de projeto ( $Q_1$  e  $Q_2$ ) para os estacionamentos 1 e 2.

$$I = \frac{kT^a}{(t + b)^c} = \frac{5987,1x5^{0,218}}{(5 + 32,69)^{1,087}} = 164,52 \text{ mm/h}$$

$$Q_1 = \frac{IA_c}{60} = \frac{(164,52x221)}{60} = 605,98 \text{ L/min}$$

$$Q_2 = \frac{IA_c}{60} = \frac{(164,52x243)}{60} = 666,31 \text{ L/min}$$

O material escolhido para fabricação da calha semicircular foi metal cujo coeficiente de rugosidade ( $n$ ) vale 0,011. Conforme mostrado na Figura 38, na ABNT NBR 10844:1989 existe uma Tabela que correlaciona a vazão máxima do projeto com o diâmetro interno da calha, e com três declividades diferentes para o coeficiente de rugosidade.

Figura 38 - Capacidade das calhas semicirculares com  $n=0,011$ .

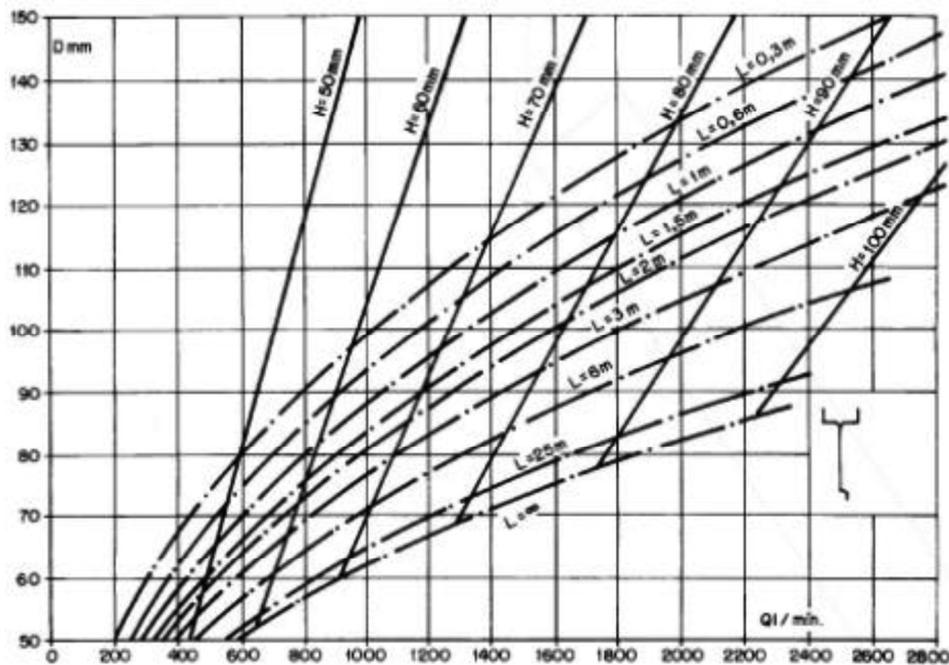
Diâmetro interno (mm)	Declividades		
	0,50%	1,00%	2,00%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1167	1634

Fonte: NBR 10844, 1989.

Com os valores das respectivas vazões e as informações da tabela (Figura 31) foi possível determinar o diâmetro da calha e a definir a declividade. Portanto, foram adotados o diâmetro de 150 mm e a declividade de 2,00 % para a calha de ambos estacionamentos. O projeto possui dois condutores verticais, sendo um para cada

estacionamento. O condutor vertical foi dimensionado pelo Ábaco calha com funil de saída da ABNT NBR 10844:1989 conforme mostrado na Figura 39.

Figura 39 - Ábaco para dimensionamento do condutor vertical.



Fonte: NBR 10844, 1989.

A vazão de projeto dos condutores verticais foram 605,98 L/min e 666,31 L/min para os estacionamentos 1 e 2, respectivamente. A altura da lâmina d'água na calha foi 75 mm, visto que se trata de uma calha semicircular e o comprimento do condutor foi 2,30 m que se refere à altura do estacionamento pré-fabricado. Com as informações da vazão (Q), altura da lâmina d'água (H) e o comprimento do condutor (L) foi determinado, pelo Ábaco, o diâmetro de 100 mm para o condutor vertical. Já para o condutor horizontal, a ABNT NBR 10844:1989 fornece uma tabela para determinação do diâmetro em função da rugosidade e da declividade, conforme apresentada na Figura 40.

Figura 40 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min)

Diâmetro interno (mm)	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,013			
	0,50%	1,00%	2,00%	4,00%	0,50%	1,00%	2,00%	4,00%	0,50%	1,00%	2,00%	4,00%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1190	1690	552	777	1100	1550	509	717	1010	1430
200	1300	1820	2570	3650	1190	1670	2360	3350	1100	1540	2180	3040
250	2350	3310	4660	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
300	3820	5380	7590	10800	3500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

\*As vazões foram calculadas utilizando-se a fórmula de Manning-Strickler, com a altura de lâmina de água igual a 2/3 de D.

Fonte: NBR 10844/89.

Portanto, foi determinado um diâmetro de 125 mm para o condutor horizontal. Para melhoria da qualidade da água e maior preservação do reservatório foi colocado uma peneira para retenção de impurezas na saída do condutor horizontal.

A água pluvial será armazenada em um tanque enterrado com capacidade de 40 mil litros, cuja dimensões são 5 metros de comprimento, 4 metros de largura e 2 metros de altura. Embora não tenha sido realizado um estudo da perda de carga e da energia disponível para escoamento, foi considerado que em função da localização do reservatório a necessidade de um sistema de bombeamento para recalque da água.

A torneira para irrigação será alocada à 50 centímetros de altura do solo, para que haja um bom funcionamento é preciso que sua vazão seja de 1,5 m³/h, segundo Mello (2010) um sistema de motobomba de pequeno porte possui um rendimento entre 40 à 60%, com isso foi adotado um rendimento previsto de 50% para o sistema. Portanto, foi feito a escolha da bomba a partir da equação da potência abaixo (AZEVEDO, 1998).

$$P = \frac{\gamma x Q x Hm}{75 x n}$$

Onde: P = potência da bomba em cavalos;  $\gamma$  = peso específico da água, Q = vazão, Hm = altura manométrica, n = eficiência global do sistema.

$$P = \frac{1000 \times 0,00041 \times 2,5}{75 \times 0,5}$$

$$P = 0,027 \text{ cv}$$

Foi escolhido para o sistema uma bomba d'água Acquapump de 1/2 cv da marca Ferrari, a qual consegue bombear uma vazão 1,8 m³/h até 22 metros. Assim suprimindo a necessidade do sistema projetado.

A água pluvial poderá ser utilizada em usos não potáveis do campus, como por exemplo a rega da área verde. Segundo Veschambre (1980), para plantas médias cobrindo de 20% a 60% do solo, o gasto de água no verão é de 4 L/m²/dia e nas demais estações do ano tem média de 2 L/m²/dia.

A área irrigada foi determinada pelo método Rippl (1883) cujo propósito é equalizar a flutuação entre suprimento e a demanda ao longo do tempo. Por tratar-se de um método fundamentado no conceito do período crítico, tem sua aplicação mais adequada para a situação em que a demanda acumulada de água é aproximadamente igual ou ligeiramente inferior ao suprimento (GIACCHINI, 2016).

Para o cálculo da área irrigada utilizou-se os dados de precipitação média mensal para Varginha no INMET e adotou-se coeficiente Runoff igual a 0,9 (metal: 0,85 a 0,93). As informações foram apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 -Determinação da área irrigada pelo método de Rippl.

Mês	Precipitação média mensal (mm)	Área de captação (m²)	Coefficiente de Runoff	Volume Captado (m³)	Volume do reservatório (m³)	Área irrigada (m²/dia)
Janeiro	269	464	0,9	112,33	40,00	322,58
Fevereiro	166	464	0,9	69,32	40,00	357,14
Março	166	464	0,9	69,32	40,00	322,58
Abril	67	464	0,9	27,98	27,98	466,33
Maio	49	464	0,9	20,46	20,46	330,00
Junho	24	464	0,9	10,02	10,02	167,00
Julho	20	464	0,9	8,35	8,35	134,68
Agosto	29	464	0,9	12,11	12,11	195,32
Setembro	83	464	0,9	34,66	34,66	577,67
Outubro	121	464	0,9	50,53	40,00	645,16
Novembro	184	464	0,9	76,84	40,00	645,16
Dezembro	260	464	0,9	108,58	40,00	322,58

De acordo com a Tabela 5, foi observado que em relação a precipitação média mensal, julho foi o mês mais crítico e outubro/novembro foram os meses que mais contribuíram para a área irrigada. A água excedente ao volume do tanque será

infiltrada ao solo. Esses dados estão relacionados com a demanda de água pela área nas diferentes estações do ano.

O CEFET-Varginha possui consumo médio mensal de 155 m<sup>3</sup> de água e a tarifa aplicada pela COPASA, em 2021, para os volumes entre 40 m<sup>3</sup> e 200 m<sup>3</sup> é de R\$ 10,578 /m<sup>3</sup> (Anexo G). Sendo assim, o gasto médio mensal do campus com água e esgoto foi de R\$ 3.279,18. Com os dados mensais fornecidos pela COPASA foi feita uma análise econômica em relação à redução do valor pago pelo consumo de água (Tabela 6). Por outro lado, o menor consumo de água irá promover maior redução no valor pago, uma vez, que poderá incidir em tarifação menor em função do volume consumido.

*Tabela 6 - Economia estimada pelo sistema de captação de água pluvial.*

Mês	Consumo real (m <sup>3</sup> )	Volume do reservatório (m <sup>3</sup> )	Economia pelo sistema (R\$)
Set/20	164,00	34,66	<b>733,27</b>
Out/20	243,00	40,00	<b>917,20</b>
Nov/20	124,00	40,00	<b>846,24</b>
Dez/20	152,00	40,00	<b>846,24</b>
Jan/21	118,00	40,00	<b>846,24</b>
Fev/21	115,00	40,00	<b>846,24</b>
Mar/21	138,00	40,00	<b>846,24</b>
Abr/21	86,00	27,98	<b>591,94</b>
Mai/21	89,00	20,46	<b>432,85</b>
Jun/21	150,00	10,02	<b>211,98</b>
Jul/21	97,00	8,35	<b>176,65</b>
Ago/21	383,00	12,11	<b>277,68</b>

O sistema de captação nos meses de maior precipitação irá reduzir o consumo em até 40 m<sup>3</sup>, gerando uma economia média de R\$ 846,24. Entretanto, para o mês de menor precipitação a redução seria apenas de 8,35 m<sup>3</sup>, o qual a economia no valor pago seria de R\$ 176,65. Em agosto de 2021 e outubro de 2020 foi observado maior consumo, ou seja, valor acima de 200 m<sup>3</sup> e a tarifa foi de R\$ 11,465 /m<sup>3</sup>. É importante salientar que a análise foi realizada em cima do consumo global, visto que não foi feito um estudo detalhado da quantidade consumida e do local de utilização de água no campus.

Para finalizar, foram representados, com a utilização do software *Autocad versão estudante* (2019), o corte esquemático do estacionamento e do sistema de reuso e a planta baixa dos estacionamentos 1 e 2 (Figuras 41 e 42).

Figura 41 - Corte esquemático do estacionamento e sistema de reuso (sem escala)

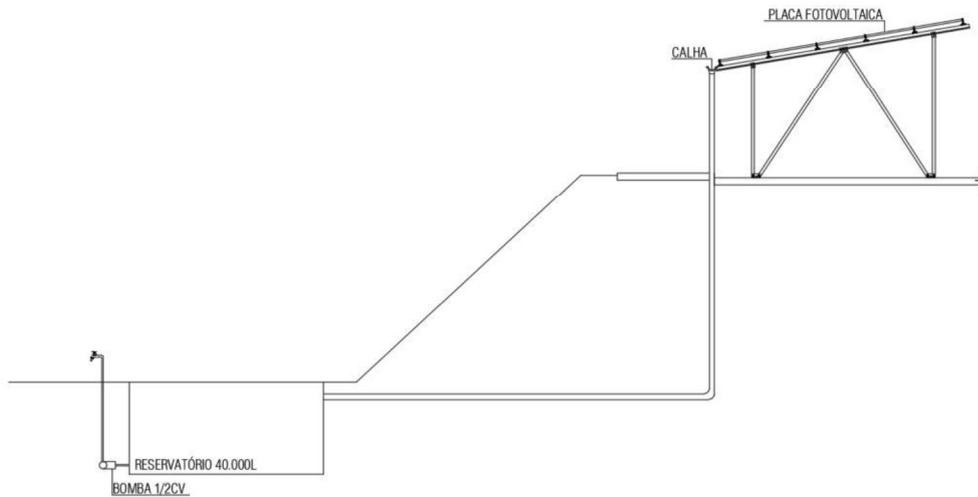
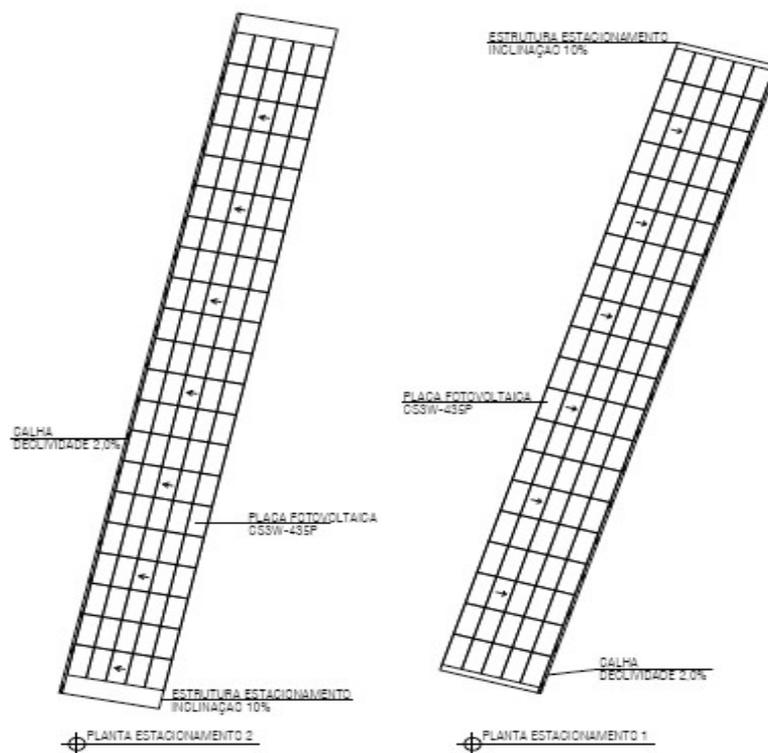


Figura 42 - Planta baixa dos estacionamentos 1 e 2 (sem escala)



## 5. CONCLUSÕES

O sistema fotovoltaico apresentou geração de energia acima do valor estimado para a demanda atual. Tal fato foi positivo tendo em vista que o campus tende a aumentar sua demanda por energia com a instalação de novos laboratórios e

com a implantação de novos cursos. Ademais, o excedente de energia pode gerar créditos energéticos ou serem utilizados em outros campi do CEFET-MG em até 60 meses.

A viabilidade do estacionamento fotovoltaico retornou um bom *payback* (65 meses) e um índice TIR aceitável. O retorno de longo a médio prazo é um dos obstáculos para implantação de sistema sustentáveis para usuários que visam resultados imediatos. Por outro lado, a vida útil do projeto fotovoltaico será de 25 anos, podendo beneficiar o CEFET-MG por um período longo.

O sistema de captação de água pluvial para irrigação da área verde do campus obteve bons resultados sendo julho o mês mais crítico e outubro/novembro os meses que mais contribuíram para a área irrigada. É importante, relatar que esses valores tem relação com a demanda de água nas diferentes estações do ano. É possível economizar água e obter descontos no valor pago pelo m<sup>3</sup> de água por meio do enquadramento na tarifação menor.

O Brasil apresenta grande potencial para o aproveitamento da energia solar, porém, o maior problema é a falta de investimento do governo em fontes sustentáveis de energia. Por fim, o sistema cumpriu o papel de sustentabilidade fornecendo energia suficiente para a demanda atual e futura e ainda promoveu o reuso de água para a irrigação da verde do campus.

### **5.1. Sugestão para trabalhos futuros**

Como sugestões de trabalhos futuros, foram listados os seguintes itens:

- Levantamento dos gastos reais com energia elétrica do CEFET-MG;
- Estimativa da quantidade de água utilizada para usos menos nobres no CEFET-MG;
- Análise detalhada do real consumo de água no campus para definir os locais para a utilização de água da chuva.
- Alteração da inclinação dos módulos fotovoltaicos e a interferência no funcionamento do sistema;
- Dimensionamento com painéis de outros tipos de materiais a partir do Silício;
- Estudo comparativo de funcionamento e dos custos dos materiais empregados para implantação do sistema em outros fornecedores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB. **Dados do fabricante.** 2015. Disponível em: <[https://s3.amazonaws.com/ecodirect\\_docs/ABB/UNO-7.6-8.6-Rev1.3.pdf](https://s3.amazonaws.com/ecodirect_docs/ABB/UNO-7.6-8.6-Rev1.3.pdf)>. Acesso em: 21 jul. 2021.

ABBOTT, D. **Keeping the Energy Debate Clean: How Do We Supply the World's Energy Needs.** Proceedings of the IEEE | Vol. 98, No. 1, January 2010.

ABNT. **Norma Brasileira - Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004 versão corrigida.** 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10844 – Instalações prediais de águas pluviais.** Rio de Janeiro, 1989. 13 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15527 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.** Rio de Janeiro, 2007. 11 p.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **World Energy Outlook.** Disponível em: <<http://www.iea.org/topics/energypoverity/>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 2ª Ed. Brasília, DF. 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/atlas2005.zip>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 3. ed. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482.** 17 abr. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2021.

ANEEL - **Resolução Normativa Nº687.** 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

ANNECCHINI, Karla Ponzó Vaccari. **Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES).** 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - Es, 2005.

AUTOCAD. **Autocad 2019.** 2019. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/education/free-educational-software>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

AZEVEDO NETTO, José martiniano de. **Manual de hidráulica.** 8. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

BICUDO; Carlos Eduardo de Mattos; NOBRE, Carlos AFONSO; TUCCI, Carlos; DALBERSON, Danny; ASSAD, Eduardo; BARBOSA, Francisco; KELMAN, Jerson; TUNDISI, GALIZIA, José; MARENGO, José; ROSA, Luiz Pinguelli; SELUCHI, Marcelo; PORTO, Monica; NUCCI, Nelson Luiz Rodrigues; AZEVEDO, Sandra; AYRIMORAES, Sérgio soares; CIMINELLI, Virginia. **Recursos hídricos no Sudeste: segurança, soluções, impactos e riscos.** Carta de São Paulo. São Paulo – SP, 2014.

BONA, Berenice de Oliveira. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em edificações multifamiliares na cidade de Carazinhos - RS.** Panambi RS: Universidade Federal de Santa Maria. 2014

CALAIA, F. J. **Estudo comparativo de três tecnologias fotovoltaicas:** Estudo experimental com transposição para um nível macro. [S.l.: s.n.], 2011.

Canadian Solar. **Dados do fabricante.** 2019. Disponível em: <[https://www.canadiansolar.com/test-au/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Canadian\\_Solar-Datasheet-HiKu\\_CS3W-P\\_v5.59\\_AU-2.pdf](https://www.canadiansolar.com/test-au/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-P_v5.59_AU-2.pdf)>. Acesso em: 09 jul. 2021.

CASTRO, R.M. G, **Introdução à energia fotovoltaica.** Universidade Técnica de Lisboa, maio de 2008.

CICLO VIVO. 2018. Disponível em: < <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/clube-mg-mini-usina-solar/>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

CEFET-MG (Varginha). Localização. *In: Localização.* [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.varginha.cefetmg.br/localizacao/>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CRESEB. **Atlas solarimetrico do Brasil.** 2000. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=&cid=2>>. Acesso em: 03 abril. 2021.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Edição revisada e atualizada.** Rio de Janeiro, 2014.

DUPONT, Fabrício Hoff; GRASSI, Fernando; ROMITTI, Leonardo. **Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável.** REGET/UFSM, [S. l.], p. 70 - 81. 2015.

ECOMAIS. **Energia solar.** 2018. Disponível em: <<http://www.ecomais.ind.br/energia-solar>>. Acesso em: 1 abril. 2021.

EL-GHONEMY, A.M.K. **Photovoltaic Solar Energy: Review.** International Journal of Scientific & Engineering Research, [s. l.], v. 3, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética.** Brasília: MME, EPE, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2019.** Rio de Janeiro: 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2020.** Rio de Janeiro: 2020.

FORTELEV. **Tanque de Polietileno 20.000L.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.fortlev.com.br/produtos/reservatorios/solucoes-fortlev-caixa-dagua-grandes-volumes/tanques/tanque-de-polietileno-20000l/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

GARCIA, Samantha S.; AMORIM, Ricardo S. S.; COUTO, Eduardo G.; STOPA, Werico H. **Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três**

**estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 15, n. 6, 2011, p.575-581.

GIACCHINI, Margolaine. O MÉTODO DE RIPPL PARA DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA. In **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC 2016** Rafain Palace Hotel & Convention Center- Foz do Iguaçu - PR 29 de agosto a 1 de setembro de 2016.

GUIMARÃES, B. V. C; SOUZA, E. B. de; ABREU, A. M. A; DONATO, S. L. R; ASPIAZU, J. **Captação e aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis e potáveis.** ENCICLOPÉDIA BIOSFERA. Centro Científico Conhecer: Goiânia, v.11, n.21, p.2926, 2015.

GOOGLE. **Google Earth.** 2021. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

INMET, **Instituto Nacional de Meteorologia:** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em 10 de ago. de 2021.

INOVACARE SOLAR. **Tecnologia.** 2017. Disponível em: <<http://www.inovacare.solar/tecnologia>>. Acesso em: 02 fev. 2021.

ISE. **Photovoltaics Report.** Disponível em: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021.

JUNIOR, ALCY M.; SANTANA, KARLA G. S.; MACEDO, ANE C.; NASCIMENTO, OLÍVIO C.S.; SILVA, SERGIO B. **Desempenho de sistemas FV de acordo com a inclinação e azimute.** Revista Fotovolt, n.8, p.18-21, 2017.

LOSEKANN, Luciano; HALLACK, Michelle. **O desafio das renováveis no Brasil.** Brasil Energia. Rio de Janeiro, 8 de maio. 2017.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Águas & Águas.** 3. ed. Belo Horizonte: Jorge Macêdo, 2007. 1048 p.

MELLO, Carlos Rogério; LIMA, José Maria; SILVA, A.M.; MELLO, José Marcio de; OLIVEIRA, M. S. **Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v.27, n.5, p.925-933, 2003.

MELLO, Carlos Rogério. **Escolha de bombas centrífugas.** Tadayuki Yanagi Jr. Lavras: Departamento de Ciências Exatas da universidade Federal de Lavras, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA & EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – **Brasil. Plano Nacional de Energia 2050.** Brasília: MME: EPE, 2020.

MOLINI, Annalisa; YIN, Jun. **Impacts of solar intermittency on future photovoltaic reliability.** Nature research, [s. l.], 7 set. 2020. DOI 10.1038/s41467-020-18602-6. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/344340030\\_Impacts\\_of\\_solar\\_intermittency\\_on\\_future\\_photovoltaic\\_reliability](https://www.researchgate.net/publication/344340030_Impacts_of_solar_intermittency_on_future_photovoltaic_reliability). Acesso em: 6 ago. 2021.

MS ENERGIA SOLAR. **Estrutura estacionamento fotovoltaico.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.msenergiasolar.com.br/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Atuais e Perspectivas Futuras**. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo, SP, 107 p. 2014.

NORTE ENERGIA. 2017. Disponível em: <<http://norteenergiasa.com.br/>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONGALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RUTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, INPE, 2ª edição, 2017. Disponível em: <[http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html)>. Acesso em: 02 mar. 2021.

PIMENTEL, T. **O enfrentamento político dos conflitos socioambientais decorrentes da implantação de usinas hidrelétricas**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Brasília, Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Planejamento e Gestão Ambiental, Brasília, 2012.

PINHO; GALDINO. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. [S.l.]: GTES, 2014.

PORTAL SOLAR. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

PVSYST. **PVSYST 7.2**. 2021. Disponível em: <<http://www.pvsyst.com/en/software/download>>. Acesso em: 7 jul. 2021. REN21. **Renewables 2018: Global status report**. [S.l.: s.n.], 2018.

REN21. RENEWABLES 2018: Global status report. [S.l.: s.n.], 2018.

RICHARDSON, Luke. **Solar carports: How do they work and how much do they cost?** **Energy Sage**. 25 mar. 2018. Disponível em: <<https://news.energysage.com/what-is-a-solar-panel-carport/>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

ROSS, Stephen A. et al. **Administração Financeira**. 10. ed. São Paulo: AMGH, 2015. 1222 p.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. [S.l.]: UFSC/LABSOLAR, 2004.

SILVA, Franklin Gomes da; ALVES, Marcelo Augusto, MACIEL; FRANÇA, Neirivan Barros. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: UM ESTUDO DE POSSIBILIDADES PARA O MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA – PA**. Revista Brasileira de energia renováveis, 2017.

SINAPI – Índices da Construção Civil. Disponível em: <[https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-sumario-composicoes-feridas/SUMARIO\\_DE\\_PUBLICACOES\\_E\\_DOCUMENTACAO\\_DO\\_SINAPI.pdf](https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-sumario-composicoes-feridas/SUMARIO_DE_PUBLICACOES_E_DOCUMENTACAO_DO_SINAPI.pdf)>. Acesso em 23 jun. 2021.

SOLAR MAGAZINE. 2020. Disponível em: <[http:// https://solarmagazine.com/pt-br/paineis-solares/](http://https://solarmagazine.com/pt-br/paineis-solares/)>. Acesso em: 28 mar. 2021.

SUNERGIA. **Qual a diferença entre sistemas On-Grid e Off-Grid**. 2017. Disponível em: <<https://sunergia.com.br/blog/qual-a-diferenca-entre-sistemas-on-grid-e-off-grid/>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

TOMÁZ, P. **Aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2ªed. São Paulo: Navegar, 2010.

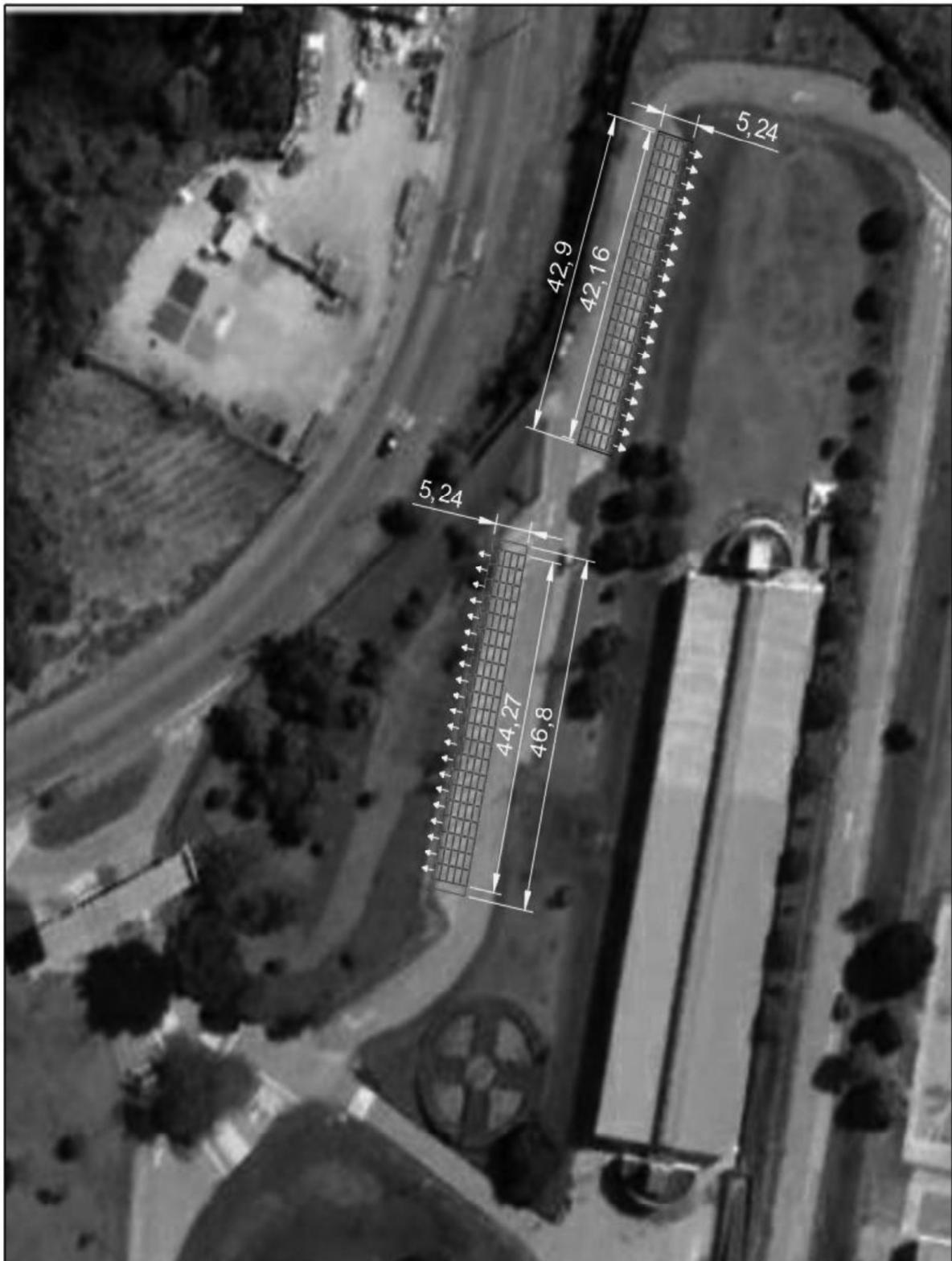
TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis: Capítulo 01 - Conceito de aproveitamento de água de chuva**. [s.l.]: Plínio Tomaz, 2011. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Capitulo1.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Capitulo1.pdf)>. Acesso em: 09 ago. 2021.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. São Carlos, 2012. 164f. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia, Universidade de São Carlos – São Paulo, 2012.

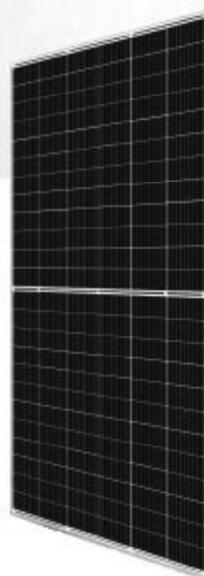
VESCHAMBRE, Daniel. **Mémento goutte à goutte : guide pratique de la micro-irrigation par goutteur et diffuseur**. [S.l.]: C.T.I.F.L., 1980. 204 p.

ZAHEDI, A. **Solar Photovoltaic (PV) Energy**; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems. Renewable Energy. Issue 5, v.31, 2006.

## ANEXO A – DISPOSIÇÃO DAS PLACAS NO ESTACIONAMENTO



## ANEXO B – ESPECIFICAÇÃO DO MÓDULO CS3W-435P



### HiKu

SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE

420 W ~ 435 W

CS3W-420 | 425 | 430 | 435P

#### MORE POWER



24 % more power than conventional modules



Up to 4.5 % lower LCOE  
Up to 2.7 % lower system cost



Low NMOT:  $42 \pm 3$  °C  
Low temperature coefficient (Pmax):  
-0.37 % / °C



Better shading tolerance

#### MORE RELIABLE



Lower internal current,  
lower hot spot temperature



Cell crack risk limited in small region,  
enhance the module reliability



Heavy snow load up to 5400 Pa,  
wind load up to 3600 Pa\*



linear power output warranty\*



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 / INMETRO  
IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE  
UL 1703: CSA  
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.

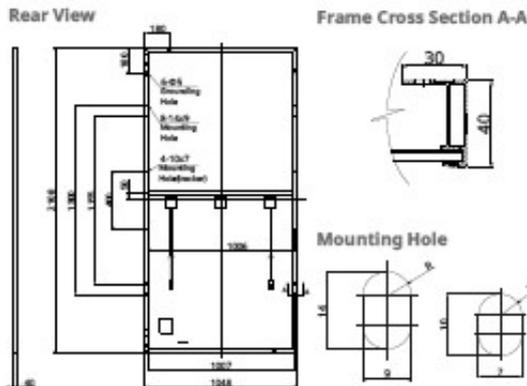
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar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

\* For detail information, please refer to Installation Manual.

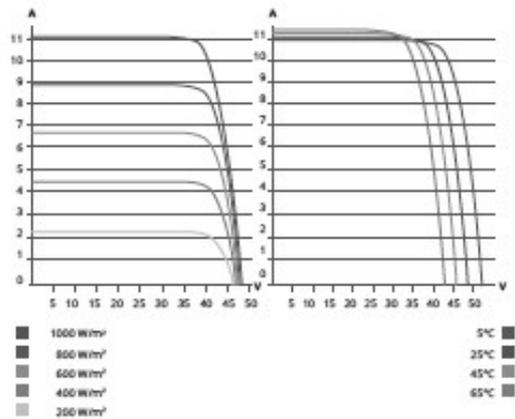
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3W-420P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3W	420P	425P	430P	435P
Nominal Max. Power (Pmax)	420 W	425 W	430 W	435 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	39.5 V	39.7 V	39.9 V	40.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.64 A	10.71 A	10.78 A	10.85 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.0 V	48.2 V	48.4 V	48.6 V
Short Circuit Current (Isc)	11.26 A	11.29 A	11.32 A	11.35 A
Module Efficiency	19.01%	19.24%	19.46%	19.69%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	20 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 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\*

CS3W	420P	425P	430P	435P
Nominal Max. Power (Pmax)	312 W	316 W	320 W	323 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.7 V	36.9 V	37.1 V	37.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.51 A	8.57 A	8.62 A	8.68 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.08 A	9.11 A	9.13 A	9.16 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 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

\* 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	42 ± 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. 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](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

October 2019. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V5.584\_EN

## ANEXO C – ESPECIFICAÇÕES DO INVERSOR ABB UNO 8.6

### Solar inverters

ABB string inverters  
UNO-7.6/8.6-TL-OUTD  
7.6kW to 8.6kW



UNO 7.6 and 8.6 is a feature-rich transformerless inverter that is powerful and flexible enough to operate like two inverters. This means fewer inverters are needed to fit residential installations.

Reducing cost of installation. Available in 7.6kW or 8.6kW, the ABB UNO 7.6 and 8.6 inverters are well suited for North American residential rooftop installations and provide the system flexibility, levels of performance and reliability that designers need. The wide input voltage range makes the inverter suitable for installations utilizing a reduced string size.

ABB is the only manufacturer who can offer a fully-loaded, large-residential system using one inverter.

ABB's high speed and precise Multiple Power Point Tracker (MPPT) algorithm enables real-time power tracking and improved energy harvesting.

The dual MPPT input enables more orientations of PV strings to be connected at the same time; thereby, maximizing the energy harvesting and flexibility.

These inverters are extremely lightweight and simple to wall mount, while still featuring an integrated DC disconnect with combiner, lowering overall installation cost.

#### Highlights:

- Dual independent MPPT channel compatible with a 40Amp residential panel sized breaker.
- Outdoor NEMA 4X rated enclosure for unrestricted use under any environmental conditions.
- Wide input range for increased stringing flexibility.
- Minimizes installation space with side-by-side installation
- 96.5% CEC efficiency.

Power and productivity  
for a better world™



Additional highlights:

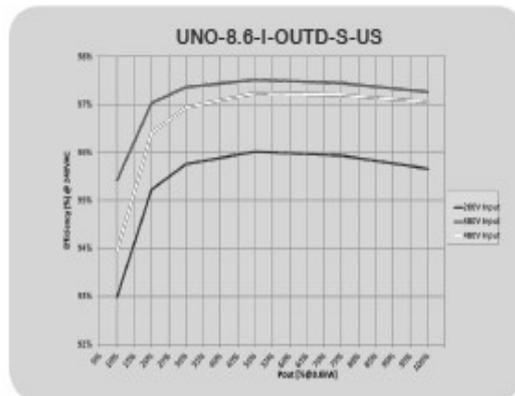
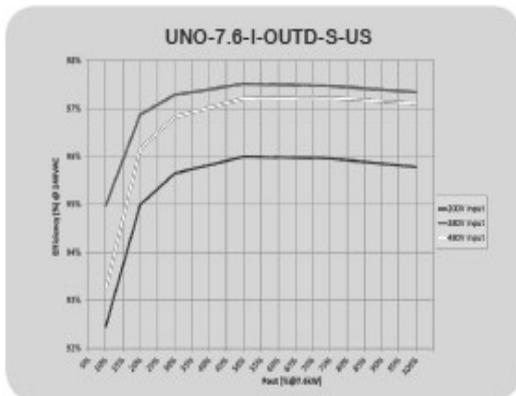
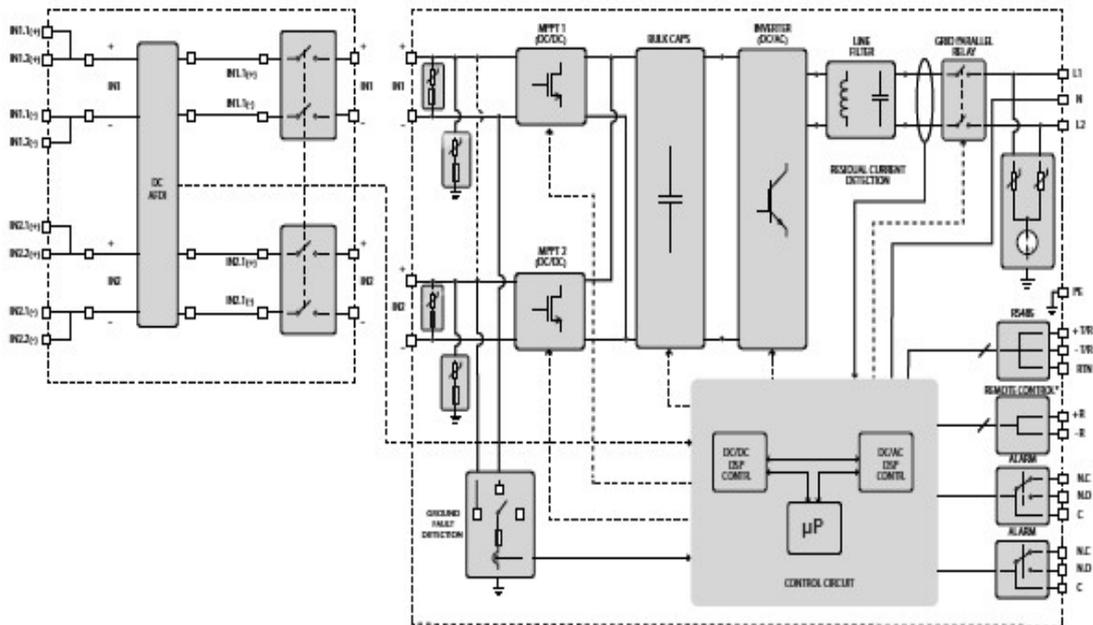
- It has a single phase and split phase output.
- It offers an extra quiet, high-frequency transformer inverter architecture.
- This fully inverter-integrated DC disconnect and wiring box saves installation time and cost.
- It has flexible data monitoring options to view inverter performance where and how you need it.
- This inverter comes with a standard 10 year warranty, available extensions to 15 and 20 years.



Technical data and types

Type code	UNO-7.6-TL-OUTD-S-US-A			UNO-8.6-TL-OUTD-S-US-A	
Nominal output power	7600W			8600W	
Maximum output power	8300W			9400W	
Rated grid AC voltage	208V	240V	277V	240V	277V
<b>Input side</b>					
Number of independent MPPT channels	2				
Maximum usable power for each channel	5400W				
Absolute maximum voltage (Vmax)	600V				
Start-up voltage (Vstart)	200V (adj. 120-350V)				
Full power MPPT voltage range	200-480				
Operating MPPT voltage range	0.7xVstart-550 (± 90V)				
Maximum current (Idcmax) for both MPPT in parallel	48A				
Maximum usable current per channel	24A				
Maximum short circuit current limit per channel	30A				
Number of wire landing terminals per channel	2 pairs				
Array wiring termination	Terminal block, pressure clamp, AWG12-AWG4				
<b>Output side</b>					
Grid connection type	1Ø/2W	Split-Ø/3W	1Ø/2W	Split-Ø/3W	1Ø/2W
Grid voltage range (Vmin-Vmax)	183V-228V	211V-264V	244V-304V	211V-264V	244V-304V
Nominal grid frequency	60Hz				
Adjustable grid frequency range	57Hz-63Hz				
Maximum Current (Iacmax)	36.5A <sub>max</sub>	32A <sub>max</sub>	27.5A <sub>max</sub>	36A <sub>max</sub>	31A <sub>max</sub>
Power Factor	>0.995(adj. ±0.9, or fixed to ± 0.8 with max 7.6kVA / 8.6kVA)				
Total harmonic distortion (@ rated output power)	<2%				
Grid wiring termination type	Terminal block, pressure clamp AWG10-AWG4				
<b>Input protection devices</b>					
Reverse polarity protection	Yes				
Over-voltage protection type	Varistor, 2 for each channel				
PV array ground fault detection	Pre start-up Riso and dynamic GFDI (requires floating arrays)				
<b>Output protection devices</b>					
Anti-islanding protection	Meets UL 1741/IEEE 1547 requirements				
External AC OCPD rating	50A <sub>max</sub>	40A <sub>max</sub>	40A <sub>max</sub>	50A <sub>max</sub>	40A <sub>max</sub>
Over-Voltage protection type	Varistor, 2 (L <sub>1</sub> - L <sub>2</sub> / L <sub>1</sub> - G)				
<b>Efficiency</b>					
Maximum efficiency	97.5%				
CEC efficiency	96.5%				
<b>Operating performance</b>					
Night time consumption	<0.6 W <sub>max</sub>				
Stand by consumption	< 8 W <sub>max</sub>				
<b>Communication</b>					
User-interface	5.5" x 1.25" Graphic display				
Remote monitoring (1xRS485 included)	VSN700 Data Logger (opt.)				
<b>Environmental</b>					
Ambient air operating temperature range	-13°F to 140°F (-25°C to +60°C) with derating above 122°F (50°C)				
Ambient air storage temperature range	-40°F to 176°F (-40°C to +80°C)				
Relative humidity	0-100% condensing				
Acoustic noise emission level	<50 db (A) @ 1m				
Maximum operating altitude without derating	6560ft (2000m)				

Block diagram of UNO-7.6/8.6-TL-OUTD



Technical data and types

Type code	UNO-7.6-I-OUTD-S-US	UNO-8.6-I-OUTD-S-US
<b>Mechanical specifications</b>		
Enclosure rating	NEMA 4X	
Cooling	Natural convection	
Dimensions (H x W x D)	18.9 x 22.9 x 8.8 in (480 x 583 x 223mm) Inverter only 29.3 x 22.9 x 8.8 in (745 x 583 x 223mm) Including wiring box	
Weight	81.5lb (37kg)	
Shipping weight	103.5lb (47kg)	
Mounting system	Wall bracket	
Conduit connections	Bottom: (2) plugged 1/2" openings, (2) plugged 1" openings, (2) Concentrik KOs 3/4", 1" Sides: (2) Concentrik KOs 3/4", 1"	
DC switch rating (per contact) (A/V)	25A / 600Vdc	
<b>Safety</b>		
Isolation level	Transformerless - floating array	
Safety and EMC standard	UL 1741, IEE1547, IEE1547-1, CSA-C22.2N. 107.1-01, UL1998, UL1699B, FCC Part 15 Class B	
Safety Approval	cCSA	
<b>Warranty</b>		
Standard warranty	10 years	
Extended warranty	15 & 20 years	
<b>Available models</b>		
With DC switch and wiring box	UNO-7.6-TL-OUTD-S-US-A	UNO-8.6-TL-OUTD-S-US-A

\*All data is subject to change without notice

## ANEXO D – RELATÓRIO DE RESULTADOS DO PVSYST 7.2 PARA O ESTACIONAMENTO 1

### Parâmetros gerais

<b>Sistema acoplado à rede</b>		Sem cenário 3D de sombras, sem sombras	
<b>Orientação do plano dos módulos</b>			
<b>Orientação</b>	<b>Configuração dos sheds</b>		<b>Modelos utilizados</b>
Plano fixo	No 3D scene defined		Transposição Perez
Inclinação/Azimute	10 / 82 °		Difuso Perez, Meteonorm
			Cicumsolar separado
<b>Horizonte</b>		<b>Sombras próximas</b>	<b>Exigências do consumidor</b>
Sem horizonte		Sem sombras	Carga ilimitada (rede)

### Características do grupo FV

<b>Módulo FV</b>		<b>Inversor</b>	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	CS3W-435P SE	Modelo	UNO-8.6-OUTD-US-S-A (240V)
(Base de dados original do PVSyst)		(Base de dados original do PVSyst)	
Potência unitária	435 Wp	Potência unitária	8.80 kWca
Número de módulos FV	100 unidades	Número de inversores	5 unit
Nominal (STC)	43.5 kWp	Potência total	43.0 kWca
Módulos	10 Strings x 10 Em série	Tensão de funcionamento	120-530 V
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Rácio Pnom (DC:AC)	1.01
Pmpp	39.6 kWp		
Umpp	385 V		
Impp	108 A		
<b>Potência FV total</b>		<b>Potência total inversor</b>	
Nominal (STC)	44 kWp	Potência total	43 kWca
Total	100 módulos	N.º de inversores	5 unidades
Superfície módulos	221 m²	Rácio Pnom	1.01

### Perdas do grupo

<b>Fator de perdas térm.</b>		<b>Perdas de cablagem DC</b>		<b>Perdas de qualidade dos módulos</b>				
Temperatura módulos em função irradiância		Res. global do grupo	58 mΩ	Fração perdas	-0.8 %			
Uc (const.)	20.0 W/m²K	Fração perdas	1.5 % em STC					
Uv (vento)	0.0 W/m²K/m/s							
<b>Perdas dos módulos com mismatch</b>		<b>Perdas devidas a mismatch, em fiadas</b>						
Fração perdas	2.0 % no MPP	Fração perdas	0.1 %					
<b>Fator de perda IAM</b>								
Efeito de incidência (IAM): Perfil personalizado								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.988	0.970	0.917	0.763	0.000

## Resultados principais

### Produção do sistema

Energia produzida

69.54 MWh/ano

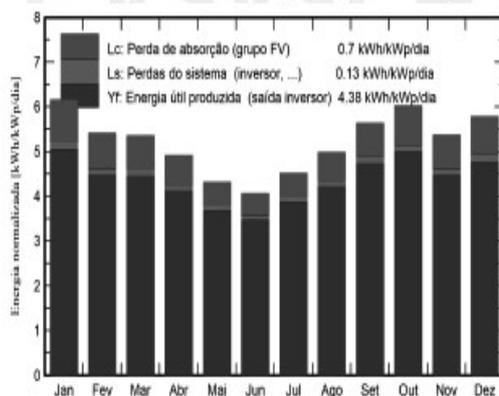
Produção específica

1599 kWh/kWp/ano

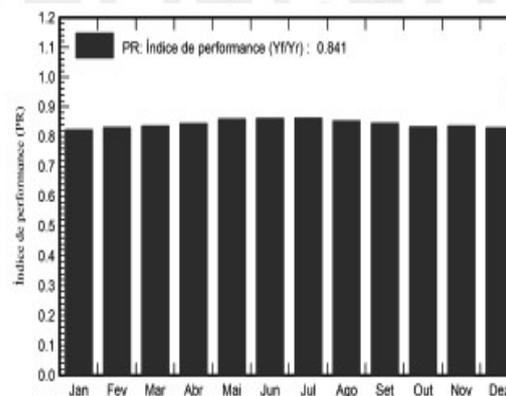
Índice de performance (PR)

84.10 %

### Produções normalizadas (por kWp instalado)



### Índice de performance (PR)



### Balancos e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	rácio
Janeiro	195.6	72.84	23.24	190.7	187.0	7.039	6.828	0.823
Fevereiro	155.0	72.20	23.74	151.3	148.1	5.640	5.470	0.831
Março	166.7	73.18	22.75	165.9	162.2	6.214	6.031	0.836
Abril	147.6	56.76	21.00	147.4	143.9	5.573	5.408	0.843
Mai	132.4	49.44	18.82	133.7	129.8	5.137	4.993	0.859
Junho	119.5	33.84	17.59	121.7	118.0	4.689	4.557	0.861
Julho	137.5	37.64	17.45	139.8	135.9	5.389	5.240	0.862
Agosto	154.0	47.27	18.80	154.3	150.5	5.887	5.719	0.852
Setembro	168.4	57.52	20.01	169.0	165.7	6.392	6.205	0.844
Outubro	189.0	74.04	21.70	186.6	182.9	6.966	6.762	0.833
Novembro	161.8	78.59	21.09	161.0	157.4	6.037	5.856	0.836
Dezembro	183.7	85.11	22.76	179.3	175.5	6.669	6.469	0.829
Ano	1911.2	738.41	20.73	1900.8	1856.9	71.633	69.538	0.841

### Legendas

GlobHor Irradiação horizontal total

EArray Energia efetiva à saída do grupo

DiffHor Irradiação difusa horizontal

E\_Grid Energia injetada na rede

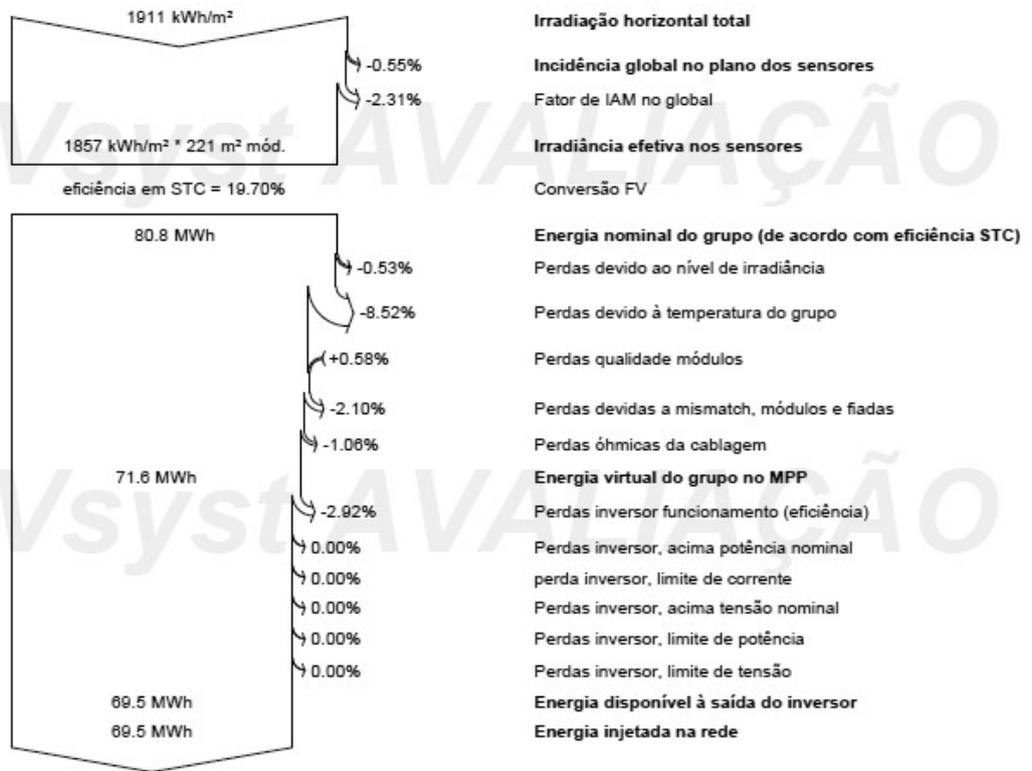
T\_Amb Temperatura ambiente

PR Índice de performance

GlobInc Incidência global no plano dos sensores

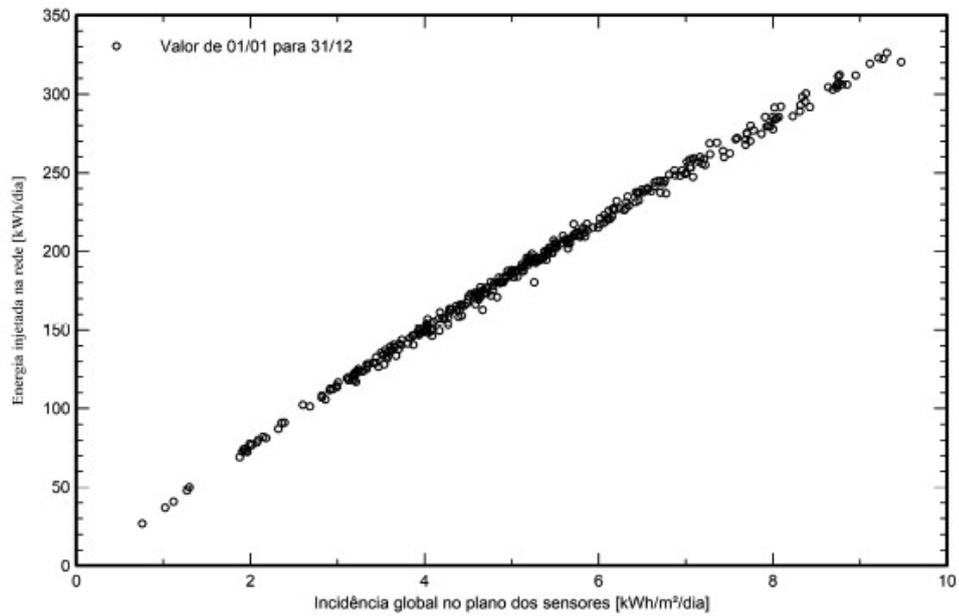
GlobEff Global efetivo, corrigido para IAM e sombras

### Diagrama de perdas

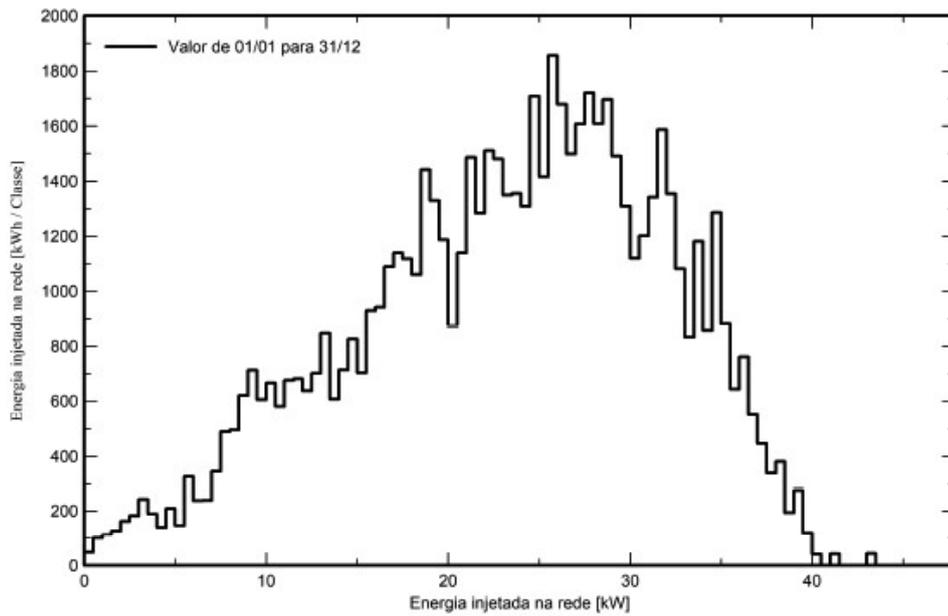


## Gráficos especiais

### Diagrama de entrada / saída diário



### Distribuição da potência à saída do sistema



## ANEXO E – RELATÓRIO DE RESULTADOS DO PVSYST 7.2 PARA O ESTACIONAMENTO 2

### Parâmetros gerais

<b>Sistema acoplado à rede</b>	Sem cenário 3D de sombras, sem sombras	
<b>Orientação do plano dos módulos</b>	<b>Configuração dos sheds</b>	<b>Modelos utilizados</b>
<b>Orientação</b>	No 3D scene defined	Transposição Perez
Plano fixo		Difuso Perez, Meteorom
Inclinação/Azimute 10 / 103 °		Cicumsolar separado
<b>Horizonte</b>	<b>Sombras próximas</b>	<b>Exigências do consumidor</b>
Sem horizonte	Sem sombras	Carga ilimitada (rede)

### Características do grupo FV

<b>Módulo FV</b>		<b>Inversor</b>	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	CS3W-435P SE	Modelo	UNO-8.6-OUTD-US-S-A (240V)
(Base de dados original do PVSyst)		(Base de dados original do PVSyst)	
Potência unitária	435 Wp	Potência unitária	8.60 kWca
Número de módulos FV	110 unidades	Número de inversores	5 unit
Nominal (STC)	47.9 kWp	Potência total	43.0 kWca
Módulos	10 Strings x 11 Em série	Tensão de funcionamento	120-530 V
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Rácio Pnom (DC:AC)	1.11
Pmpp	43.5 kWp		
Umpp	365 V		
Impp	119 A		
<b>Potência FV total</b>		<b>Potência total inversor</b>	
Nominal (STC)	48 kWp	Potência total	43 kWca
Total	110 módulos	N.º de inversores	5 unidades
Superfície módulos	243 m²	Rácio Pnom	1.11

### Perdas do grupo

<b>Fator de perdas térm.</b>		<b>Perdas de cablagem DC</b>		<b>Perdas de qualidade dos módulos</b>				
Temperatura módulos em função irradiância		Res. global do grupo	51 mΩ	Fração perdas	-0.6 %			
Uc (const.)	20.0 W/m²K	Fração perdas	1.5 % em STC					
Uv (vento)	0.0 W/m²K/m/s							
<b>Perdas dos módulos com mismatch</b>		<b>Perdas devidas a mismatch, em fidas</b>						
Fração perdas	2.0 % no MPP	Fração perdas	0.1 %					
<b>Fator de perda IAM</b>								
Efeito de incidência (IAM): Perfil personalizado								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000

## Resultados principais

### Produção do sistema

Energia produzida

74.32 MWh/ano

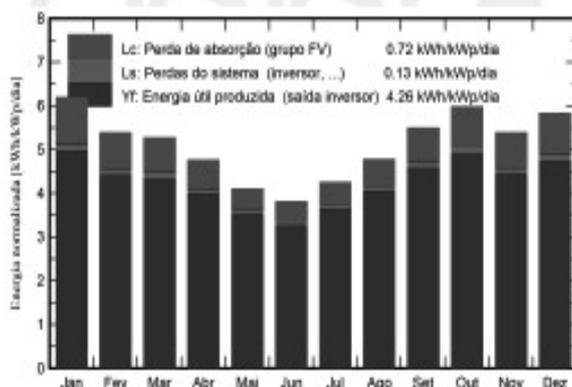
Produção específica

1553 kWh/kWp/ano

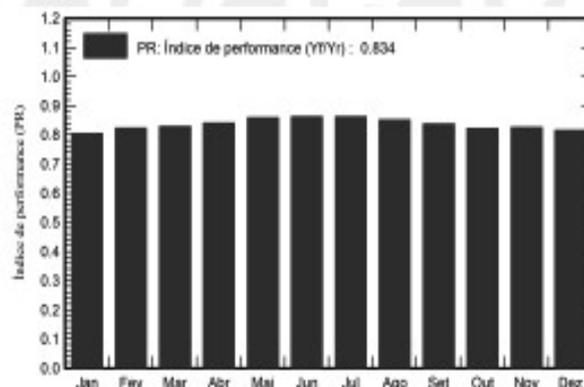
Índice de performance (PR)

83.41 %

### Produções normalizadas (por kWp instalado)



### Índice de performance (PR)



## Balancos e resultados principais

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR rácio
Janeiro	195.6	72.84	23.24	192.0	188.2	7.625	7.399	0.805
Fevereiro	155.0	72.20	23.74	150.9	147.6	6.129	5.947	0.824
Março	166.7	73.18	22.75	163.2	159.4	6.673	6.478	0.830
Abril	147.6	56.76	21.00	142.7	139.0	5.912	5.739	0.841
Mai	132.4	49.44	18.82	127.2	123.2	5.378	5.228	0.859
Junho	119.5	33.84	17.59	114.2	110.5	4.851	4.714	0.862
Julho	137.5	37.64	17.45	131.7	127.7	5.591	5.436	0.863
Ago	154.0	47.27	18.80	147.9	143.9	6.204	6.028	0.852
Setembro	168.4	57.52	20.01	164.9	161.5	6.808	6.610	0.838
Outubro	189.0	74.04	21.70	185.2	181.4	7.505	7.288	0.823
Novembro	161.8	78.59	21.09	161.6	158.1	6.583	6.389	0.826
Dezembro	183.7	85.11	22.76	180.8	177.0	7.276	7.061	0.816
Ano	1911.2	738.41	20.73	1862.1	1817.5	76.535	74.318	0.834

### Legendas

GlobHor Irradiação horizontal total

DiffHor Irradiação difusa horizontal

T\_Amb Temperatura ambiente

GlobInc Incidência global no plano dos sensores

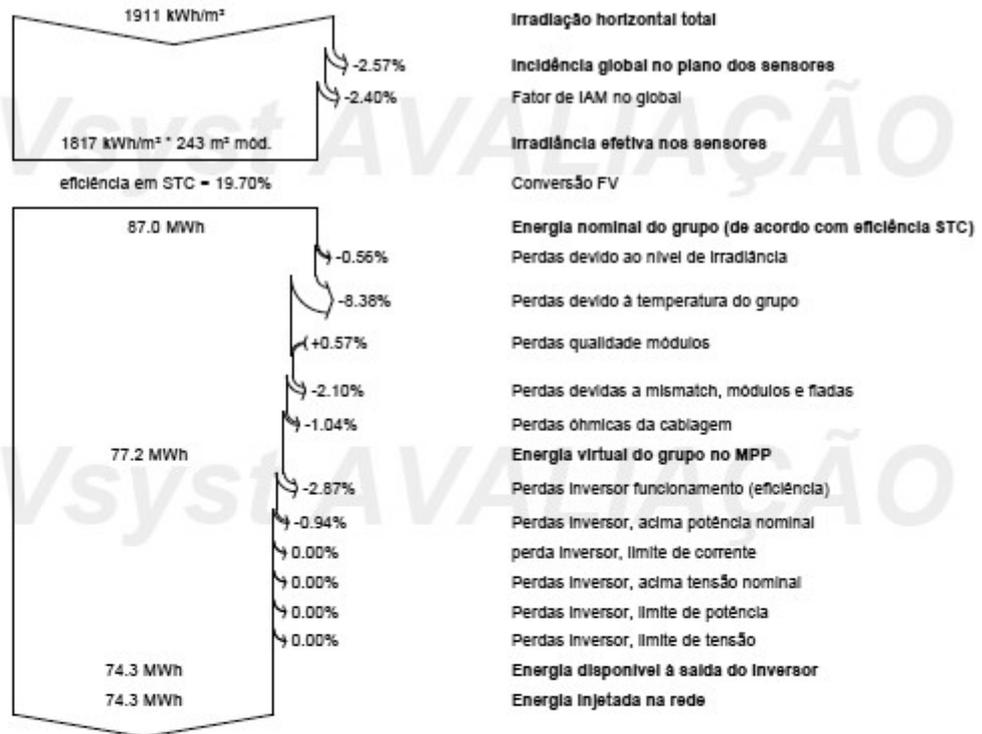
GlobEff Global efetivo, corrigido para IAM e sombras

EArray Energia efetiva à saída do grupo

E\_Grid Energia injetada na rede

PR Índice de performance

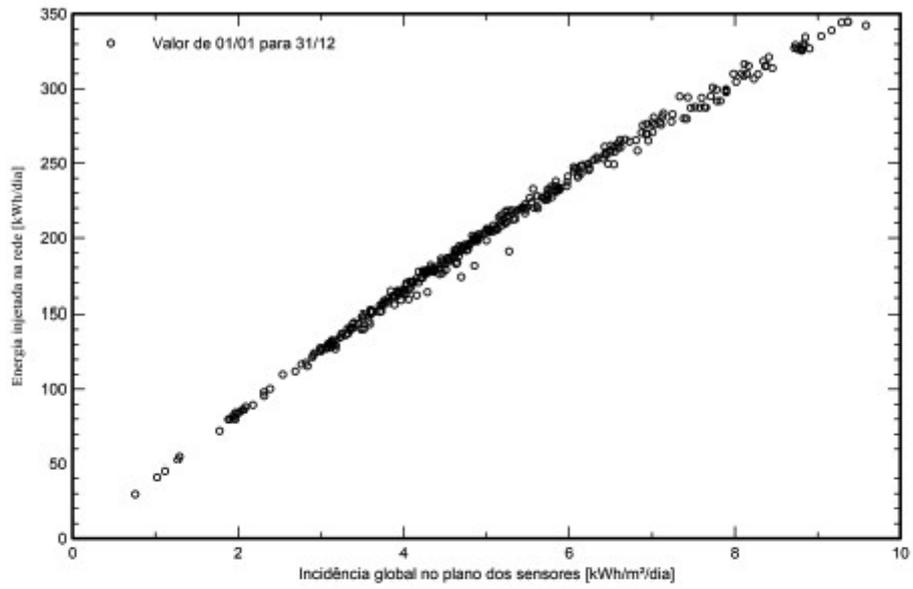
### Diagrama de perdas



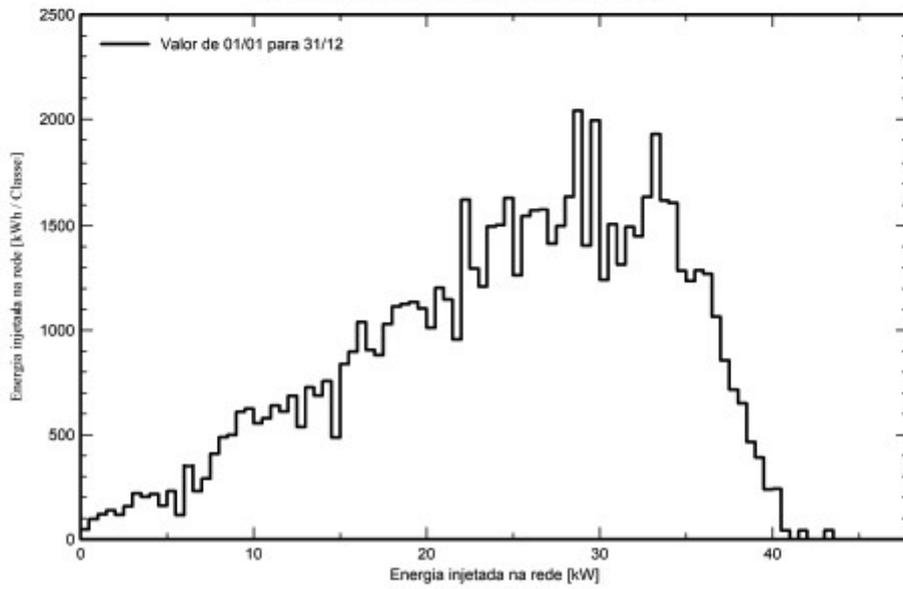
PVsystem AVALIAÇÃO

### Gráficos especiais

#### Diagrama de entrada / saída diário



#### Distribuição da potência à saída do sistema



**ANEXO F – TABELA REFERENTE AO PAYBACK**

<b>Mês</b>	<b>Data</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>Geração Nominal mês (kWh)</b>	<b>Geração Estimada mês (kWh)</b>	<b>Tarifa (R\$/kWh)</b>	<b>Economia Mensal Gerada (R\$)</b>	<b>SALDO (R\$)</b>
1	ago/21	100,000	11988,3	11988,33	R\$ 0,71	R\$ 8.547,32	-R\$ 531.909,49
2	set/21	99,875	11988,3	11973,34	R\$ 0,71	R\$ 8.536,64	-R\$ 523.372,85
3	out/21	99,750	11988,3	11958,36	R\$ 0,71	R\$ 8.525,95	-R\$ 514.846,90
4	nov/21	99,625	11988,3	11943,37	R\$ 0,71	R\$ 8.515,27	-R\$ 506.331,64
5	dez/21	99,500	11988,3	11928,39	R\$ 0,71	R\$ 8.504,58	-R\$ 497.827,05
6	jan/22	99,375	11988,3	11913,4	R\$ 0,71	R\$ 8.493,90	-R\$ 489.333,15
7	fev/22	99,250	11988,3	11898,42	R\$ 0,71	R\$ 8.483,21	-R\$ 480.849,94
8	mar/22	99,125	11988,3	11883,43	R\$ 0,71	R\$ 8.472,53	-R\$ 472.377,41
9	abr/22	99,000	11988,3	11868,45	R\$ 0,71	R\$ 8.461,85	-R\$ 463.915,56
10	mai/22	98,875	11988,3	11853,46	R\$ 0,71	R\$ 8.451,16	-R\$ 455.464,40
11	jun/22	98,750	11988,3	11838,48	R\$ 0,71	R\$ 8.440,48	-R\$ 447.023,92
12	jul/22	98,625	11988,3	11823,49	R\$ 0,71	R\$ 8.429,79	-R\$ 438.594,13
13	ago/22	98,500	11988,3	11808,51	R\$ 0,71	R\$ 8.419,11	-R\$ 430.175,02
14	set/22	98,458	11988,3	11803,51	R\$ 0,71	R\$ 8.415,55	-R\$ 421.759,47
15	out/22	98,417	11988,3	11798,51	R\$ 0,71	R\$ 8.411,99	-R\$ 413.347,48
16	nov/22	98,375	11988,3	11793,52	R\$ 0,71	R\$ 8.408,43	-R\$ 404.939,06
17	dez/22	98,333	11988,3	11788,52	R\$ 0,71	R\$ 8.404,86	-R\$ 396.534,19
18	jan/23	98,292	11988,3	11783,53	R\$ 0,71	R\$ 8.401,30	-R\$ 388.132,89
19	fev/23	98,250	11988,3	11778,53	R\$ 0,71	R\$ 8.397,74	-R\$ 379.735,15
20	mar/23	98,208	11988,3	11773,54	R\$ 0,71	R\$ 8.394,18	-R\$ 371.340,97
21	abr/23	98,167	11988,3	11768,54	R\$ 0,71	R\$ 8.390,62	-R\$ 362.950,35

22	mai/23	98,125	11988,3	11763,55	R\$ 0,71	R\$ 8.387,06	-R\$ 354.563,29
23	jun/23	98,083	11988,3	11758,55	R\$ 0,71	R\$ 8.383,50	-R\$ 346.179,80
24	jul/23	98,042	11988,3	11753,56	R\$ 0,71	R\$ 8.379,93	-R\$ 337.799,86
25	ago/23	98,000	11988,3	11748,56	R\$ 0,71	R\$ 8.376,37	-R\$ 329.423,49
26	set/23	97,958	11988,3	11743,57	R\$ 0,71	R\$ 8.372,81	-R\$ 321.050,68
27	out/23	97,917	11988,3	11738,57	R\$ 0,71	R\$ 8.369,25	-R\$ 312.681,43
28	nov/23	97,875	11988,3	11733,58	R\$ 0,71	R\$ 8.365,69	-R\$ 304.315,74
29	dez/23	97,833	11988,3	11728,58	R\$ 0,71	R\$ 8.362,13	-R\$ 295.953,61
30	jan/24	97,792	11988,3	11723,59	R\$ 0,71	R\$ 8.358,57	-R\$ 287.595,04
31	fev/24	97,750	11988,3	11718,59	R\$ 0,71	R\$ 8.355,00	-R\$ 279.240,04
32	mar/24	97,708	11988,3	11713,6	R\$ 0,71	R\$ 8.351,44	-R\$ 270.888,59
33	abr/24	97,667	11988,3	11708,6	R\$ 0,71	R\$ 8.347,88	-R\$ 262.540,71
34	mai/24	97,625	11988,3	11703,61	R\$ 0,71	R\$ 8.344,32	-R\$ 254.196,39
35	jun/24	97,583	11988,3	11698,61	R\$ 0,71	R\$ 8.340,76	-R\$ 245.855,63
36	jul/24	97,542	11988,3	11693,62	R\$ 0,71	R\$ 8.337,20	-R\$ 237.518,43
37	ago/24	97,500	11988,3	11688,62	R\$ 0,71	R\$ 8.333,64	-R\$ 229.184,80
38	set/24	97,458	11988,3	11683,63	R\$ 0,71	R\$ 8.330,08	-R\$ 220.854,72
39	out/24	97,417	11988,3	11678,63	R\$ 0,71	R\$ 8.326,51	-R\$ 212.528,21
40	nov/24	97,375	11988,3	11673,64	R\$ 0,71	R\$ 8.322,95	-R\$ 204.205,26
41	dez/24	97,333	11988,3	11668,64	R\$ 0,71	R\$ 8.319,39	-R\$ 195.885,86
42	jan/25	97,292	11988,3	11663,65	R\$ 0,71	R\$ 8.315,83	-R\$ 187.570,03
43	fev/25	97,250	11988,3	11658,65	R\$ 0,71	R\$ 8.312,27	-R\$ 179.257,77
44	mar/25	97,208	11988,3	11653,66	R\$ 0,71	R\$ 8.308,71	-R\$ 170.949,06
45	abr/25	97,167	11988,3	11648,66	R\$ 0,71	R\$ 8.305,15	-R\$ 162.643,91

46	mai/25	97,125	11988,3	11643,67	R\$ 0,71	R\$ 8.301,58	-R\$ 154.342,33
47	jun/25	97,083	11988,3	11638,67	R\$ 0,71	R\$ 8.298,02	-R\$ 146.044,31
48	jul/25	97,042	11988,3	11633,68	R\$ 0,71	R\$ 8.294,46	-R\$ 137.749,85
49	ago/25	97,000	11988,3	11628,68	R\$ 0,71	R\$ 8.290,90	-R\$ 129.458,95
50	set/25	96,958	11988,3	11623,68	R\$ 0,71	R\$ 8.287,34	-R\$ 121.171,61
51	out/25	96,917	11988,3	11618,69	R\$ 0,71	R\$ 8.283,78	-R\$ 112.887,83
52	nov/25	96,875	11988,3	11613,69	R\$ 0,71	R\$ 8.280,22	-R\$ 104.607,61
53	dez/25	96,833	11988,3	11608,7	R\$ 0,71	R\$ 8.276,65	-R\$ 96.330,96
54	jan/26	96,792	11988,3	11603,7	R\$ 0,71	R\$ 8.273,09	-R\$ 88.057,87
55	fev/26	96,750	11988,3	11598,71	R\$ 0,71	R\$ 8.269,53	-R\$ 79.788,33
56	mar/26	96,708	11988,3	11593,71	R\$ 0,71	R\$ 8.265,97	-R\$ 71.522,36
57	abr/26	96,667	11988,3	11588,72	R\$ 0,71	R\$ 8.262,41	-R\$ 63.259,95
58	mai/26	96,625	11988,3	11583,72	R\$ 0,71	R\$ 8.258,85	-R\$ 55.001,11
59	jun/26	96,583	11988,3	11578,73	R\$ 0,71	R\$ 8.255,29	-R\$ 46.745,82
60	jul/26	96,542	11988,3	11573,73	R\$ 0,71	R\$ 8.251,72	-R\$ 38.494,10
61	ago/26	96,500	11988,3	11568,74	R\$ 0,71	R\$ 8.248,16	-R\$ 30.245,93
62	set/26	96,458	11988,3	11563,74	R\$ 0,71	R\$ 8.244,60	-R\$ 22.001,33
63	out/26	96,417	11988,3	11558,75	R\$ 0,71	R\$ 8.241,04	-R\$ 13.760,29
64	nov/26	96,375	11988,3	11553,75	R\$ 0,71	R\$ 8.237,48	-R\$ 5.522,81
65	dez/26	96,333	11988,3	11548,76	R\$ 0,71	R\$ 8.233,92	R\$ 2.711,11
66	jan/27	96,292	11988,3	11543,76	R\$ 0,71	R\$ 8.230,36	R\$ 10.941,46
67	fev/27	96,250	11988,3	11538,77	R\$ 0,71	R\$ 8.226,80	R\$ 19.168,26
68	mar/27	96,208	11988,3	11533,77	R\$ 0,71	R\$ 8.223,23	R\$ 27.391,49
69	abr/27	96,167	11988,3	11528,78	R\$ 0,71	R\$ 8.219,67	R\$ 35.611,17

70	mai/27	96,125	11988,3	11523,78	R\$ 0,71	R\$ 8.216,11	R\$ 43.827,28
71	jun/27	96,083	11988,3	11518,79	R\$ 0,71	R\$ 8.212,55	R\$ 52.039,83
72	jul/27	96,042	11988,3	11513,79	R\$ 0,71	R\$ 8.208,99	R\$ 60.248,81
73	ago/27	96,000	11988,3	11508,8	R\$ 0,71	R\$ 8.205,43	R\$ 68.454,24
74	set/27	95,958	11988,3	11503,8	R\$ 0,71	R\$ 8.201,87	R\$ 76.656,11
75	out/27	95,917	11988,3	11498,81	R\$ 0,71	R\$ 8.198,30	R\$ 84.854,41
76	nov/27	95,875	11988,3	11493,81	R\$ 0,71	R\$ 8.194,74	R\$ 93.049,15
77	dez/27	95,833	11988,3	11488,82	R\$ 0,71	R\$ 8.191,18	R\$ 101.240,33
78	jan/28	95,792	11988,3	11483,82	R\$ 0,71	R\$ 8.187,62	R\$ 109.427,95
79	fev/28	95,750	11988,3	11478,83	R\$ 0,71	R\$ 8.184,06	R\$ 117.612,01
80	mar/28	95,708	11988,3	11473,83	R\$ 0,71	R\$ 8.180,50	R\$ 125.792,51
81	abr/28	95,667	11988,3	11468,84	R\$ 0,71	R\$ 8.176,94	R\$ 133.969,45
82	mai/28	95,625	11988,3	11463,84	R\$ 0,71	R\$ 8.173,37	R\$ 142.142,82
83	jun/28	95,583	11988,3	11458,85	R\$ 0,71	R\$ 8.169,81	R\$ 150.312,63
84	jul/28	95,542	11988,3	11453,85	R\$ 0,71	R\$ 8.166,25	R\$ 158.478,89
85	ago/28	95,500	11988,3	11448,86	R\$ 0,71	R\$ 8.162,69	R\$ 166.641,58
86	set/28	95,458	11988,3	11443,86	R\$ 0,71	R\$ 8.159,13	R\$ 174.800,70
87	out/28	95,417	11988,3	11438,86	R\$ 0,71	R\$ 8.155,57	R\$ 182.956,27
88	nov/28	95,375	11988,3	11433,87	R\$ 0,71	R\$ 8.152,01	R\$ 191.108,28
89	dez/28	95,333	11988,3	11428,87	R\$ 0,71	R\$ 8.148,44	R\$ 199.256,72
90	jan/29	95,292	11988,3	11423,88	R\$ 0,71	R\$ 8.144,88	R\$ 207.401,61
91	fev/29	95,250	11988,3	11418,88	R\$ 0,71	R\$ 8.141,32	R\$ 215.542,93
92	mar/29	95,208	11988,3	11413,89	R\$ 0,71	R\$ 8.137,76	R\$ 223.680,69
93	abr/29	95,167	11988,3	11408,89	R\$ 0,71	R\$ 8.134,20	R\$ 231.814,89

94	mai/29	95,125	11988,3	11403,9	R\$ 0,71	R\$ 8.130,64	R\$ 239.945,53
95	jun/29	95,083	11988,3	11398,9	R\$ 0,71	R\$ 8.127,08	R\$ 248.072,60
96	jul/29	95,042	11988,3	11393,91	R\$ 0,71	R\$ 8.123,52	R\$ 256.196,12
97	ago/29	95,000	11988,3	11388,91	R\$ 0,71	R\$ 8.119,95	R\$ 264.316,07
98	set/29	94,958	11988,3	11383,92	R\$ 0,71	R\$ 8.116,39	R\$ 272.432,46
99	out/29	94,917	11988,3	11378,92	R\$ 0,71	R\$ 8.112,83	R\$ 280.545,29
100	nov/29	94,875	11988,3	11373,93	R\$ 0,71	R\$ 8.109,27	R\$ 288.654,56

## ANEXO G –CONTA DO CONSUMO DE ÁGUA NO CAMPUS

<b>COPASA</b>	<b>NOTA FISCAL / FATURA DE SERVIÇOS</b>			<b>24/08/2021</b>
	Companhia de Saneamento de Minas Gerais Rua Mar de Espanha,525 - Santo Antônio - BH - MG / CEP: 30.330-900 CNPJ:17.281.106/0001-03 Insc. Estadual: 062.000.139.0014 www.copasa.com.br - Agência Virtual www.arsae.mg.gov.br - Agência Reguladora			
<b>AGÊNCIA MAIS PRÓXIMA</b>	R ESTEVAM BRAGA SOBRINHO 27 CENTRO De 08:00 as 12:00 e 13:00 as 17:00			<b>Fale com a COPASA 115</b>
CEFET VARGINHA MINAS GERAIS OBRA AV DOS IMIGRANTES 1000 VARGINHA MG CEP: 37022-560 SAO SEBASTIAO VARGINHA CNPJ: 17.220.203/0001-96				Pág.: 01/01
<b>REFERÊNCIA DA FATURA</b>				<b>IDENTIFICADOR USUÁRIO</b>
Número	Data de Emissao	Data de Apresentação	Mês	0 022 738 593 2
001.21.44497073-7	24/08/2021	24/08/2021	08/2021	0 011 308 641 5
<b>HIDRÔMETRO</b>	<b>LEITURA</b>		<b>CONSUMO FATURADO</b>	
B19F 0007092	Atual 2435 26/07/2021	Anterior 2052 24/06/2021	m³ 383	Litros 383.000
			Dias de consumo: 32	
			<b>PRÓXIMA LEITURA</b>	23/08/2021
<b>QUANTIDADE DE UNIDADES ATENDIDAS</b>				
	Serviço	Social	Residencial	Comercial
	Água			Industrial
				Pública
				1
	Esgoto			1
<b>HISTÓRICO DE CONSUMO</b>			<b>TARIFA</b>	
<b>CALCULO PUBLICO</b>				
Volume Faturado Litros	Dias entre medições	Média diária Litros	Faixas de consumo em 1.000 Litros	Consumo da faixa em 1.000 Litros
383.000	32	11.968	FIXA	--
97.000	31	3.129	0 A 5	5,00000
150.000	31	4.838	5 A 10	5,00000
89.000	31	2.870	10 A 20	10,00000
86.000	28	3.071	20 A 40	20,00000
138.000	33	4.181	40 A 200	160,00000
115.000	31	3.709	200 A 99999	183,00000
118.000	28	4.214	SOMA	383,00000
152.000	32	4.750		
124.000	29	4.275		
243.000	29	8.379		
164.000	29	5.655		
			VOLUME RATEADO	m <sup>3</sup>
				3
<b>CONSUMO MÉDIO</b>		<b>DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS/LANÇAMENTOS</b>		
m <sup>3</sup>	litros			
150	150.000			
<b>SEU CONSUMO/CUSTO DIÁRIO</b>				
11.968 LITROS DE ÁGUA				
Água	Esgoto			
128,75	128,75			
ABASTECIMENTO DE AGUA 4120,09 ESGOTO DINAMICO COM COLETA E TRATAMENTO - EDT 4120,09 ENTREGA CORREIO 2,64 RETENCAO LEI 9430/96 778,95-  TRIBUTOS INCIDENTES SOBRE O FATURAMENTO: PIS/COFINS - VALOR: R\$ 492,61				