

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

THIAGO SIQUEIRA DE SOUZA TEIXEIRA

PROJETO DE UMA USINA SOLAR NO TELHADO DA BIBLIOTECA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, CAMPUS SANTA MÔNICA:
CAPACIDADE DE GERAÇÃO E VANTAGENS

UBERLÂNDIA – MG
DEZEMBRO/2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

THIAGO SIQUEIRA DE SOUZA TEIXEIRA

PROJETO DE UMA USINA SOLAR NO TELHADO DA BIBLIOTECA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, CAMPUS SANTA MÔNICA:
CAPACIDADE DE GERAÇÃO E VANTAGENS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: José Roberto Camacho

UBERLÂNDIA – MG
DEZEMBRO/2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROJETO DE UMA USINA SOLAR NO TELHADO DA BIBLIOTECA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, CAMPUS SANTA MÔNICA:
CAPACIDADE DE GERAÇÃO E VANTAGENS

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado
para a obtenção do título de graduado em
Bacharelado no Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de
Uberlândia (MG) pela banca examinadora
formada por:

Uberlândia, 11 de dezembro de 2020.

Prof. Dr. José Roberto Camacho

Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Prof. Dr. Wellington Maycon Santos Bernardes

Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Prof. Dr. Igor Santos Peretta

Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Dedico este trabalho aos meus
pais, Suely e Sidnei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores com quem tive contato durante minha graduação. Tenho certeza que cada um foi importante para minha formação como engenheiro eletricista e também como cidadão, em especial ao professor José Roberto Camacho pelo auxílio na criação desse trabalho.

A todos colegas de classe com quem tive contato e pude ter a oportunidade de trocar ideias e vivências, em especial aos meus amigos mais próximos nessa caminhada: Roger Pires, Eustáquio Fernandes, Caio Arcanjo, Seleziomar Júnior, Abmael Alves, Luan Teodoro, Caio Teodoro e Murilo Aguiar Silva, sou muito grato a vocês e saibam que tenho vocês como amigos que vou levar para o resto da vida.

A toda minha família que sem eles não conseguiria chegar onde cheguei, em especial meus pais Sidnei Siqueira Teixeira e Suely Aparecida Pereira, meu irmão Kaio Siqueira Teixeira, minha tias Sueli Benda, Solange Guaranha, Sônia Pereira e Silvia Pereira, meu tio Altair Marini e meus avós Darcy Ferreira Siqueira, Vicente da Silva e Francisca Rosa Andrade Pereira. Agradeço cada esforço de vocês para me verem cada dia mais feliz.

A minha namorada Tawane Machado que é uma das pessoas que eu mais admiro, que sempre esteve ao meu lado com seu amor e companheirismo independentemente da situação.

Com certeza sem todos vocês essa caminhada não seria tão boa quanto foi. Muito obrigado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	JUSTIFICATIVA.....	1
3	DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	2
3.1	Evolução da energia solar fotovoltaica.....	2
3.2	Classificação dos sistemas fotovoltaicos (SFV)	4
3.2.1	Sistema on-grid	4
3.2.2	Sistema off-grid.....	6
3.3	Radiação solar	7
3.4	Células Fotovoltaicas	8
3.4.1	Células de silício monocristalino	9
3.4.2	Células de silício policristalino	9
3.4.3	Células de silício amorfo	9
3.4.4	Células de filmes finos	10
4	MATERIAIS E MÉTODOS	10
4.2	ESTUDO DO LOCAL DA INSTALAÇÃO.....	10
4.2.1	Localização.....	10
4.2.2	Estrutura do telhado da Biblioteca UFU.....	11
4.2.3	Avaliação do recurso solar.....	12
4.2.4	Direção das placas solares.....	13
4.3	PROJEÇÃO DA USINA FOTOVOLTAICA	13
4.3.1	Escolha dos equipamentos.....	14
4.3.2	Projeto solar	14
4.4	ANÁLISES FINANCEIRAS	14
4.4.1	Levantamento financeiro	14
4.4.2	Tempo de retomo	14
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	15
5.1	ESTUDO DO LOCAL DA INSTALAÇÃO.....	15
5.1.1	Estrutura do telhado da Biblioteca UFU.....	15
5.1.2	Avaliação do recurso solar do local da instalação.....	16
5.2	PROJEÇÃO DA USINA FOTOVOLTAICA	17
5.2.1	Escolha dos equipamentos.....	17
5.2.2	Projeto solar	21
5.3	ANÁLISES FINANCEIRAS	24

5.3.1 Levantamento Financeiro.....	24
5.3.2 Tempo de Retorno do Investimento.....	25
6. CONCLUSÕES.....	25
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

RESUMO

A energia solar está cada vez mais presente no mundo devido às suas vantagens ambientais e econômicas. Tendo isso em vista, este trabalho tem como proposta a viabilização de um projeto de energia solar instalado no prédio da biblioteca da UFU *campus* Santa Mônica. Para tal, foi realizado um levantamento teórico sobre o sistema de energia fotovoltaica e os equipamentos necessários para a sua implementação. Utilizando o software *PVSOL PREMIUM* 2020, a usina foi moldada no teto da biblioteca, otimizando-se a área disponível e levando em conta, questões como o sombreamento sobre as placas. Ao todo, a usina projetada contou com 254 placas fotovoltaicas Yingli de 330 W, 3 inversores Canadian Solar de 30 kW e 1 medidor bidirecional Fronius, gerando em média 366,796 kWh por dia. Os equipamentos foram escolhidos pelo seu custo-benefício, resultando em um investimento de R\$ 315.266,00, com tempo de retorno de 2,5 anos, aproximadamente. O projeto é, portanto, viável, com um tempo de retorno curto. Entretanto, a presença de construções sobre o telhado da biblioteca causam sombreamento sobre as placas, problema que poderia ser evitado se a usina fosse construída sobre outro edifício da Universidade, cujo telhado não possuía construções.

Palavras-chaves: Usina Solar. Sistema Fotovoltaico. Engenharia.

ABSTRACT

Solar energy is increasingly present in the world due to its environmental and economic advantages. With this in mind, this work proposes the feasibility of a solar energy project installed in the library building of the UFU *campus* Santa Monica. To this end, a theoretical survey was conducted on the photovoltaic energy system and the equipment needed for its implementation. Using the PVSOL *PREMIUM* 2020 software, the plant was mounted on the roof of the library, optimizing the available area and taking into account issues such as shading on the plates. In total, the projected plant had 254 Yingli 330 W photovoltaic modules, three 30 kW Canadian Solar inverters and one Fronius bidirectional energy meter, generating an average of 366.796 kWh per day. The equipment was chosen due to its cost-benefit, resulting in an investment of R\$ 315,266.00, with a payback time of approximately 2.5 years. The project is therefore viable, with a short turnaround time. However, the presence of buildings on the roof of the library causes shading on the plates, a problem that could be avoided if the plant was built on another university building, whose roof has no buildings.

Keywords: Solar Plant. Photovoltaic System. Engineering.

1. INTRODUÇÃO

A melhoria da qualidade de vida da população está possibilitando cada vez mais o acesso às infraestruturas básicas como moradia, saneamento e transporte. Ademais, programas de eletrificação rural fizeram com que houvesse um acréscimo de 3,2 milhões de residências rurais com energia elétrica nos últimos 10 anos. [1]

A matriz energética brasileira tem as usinas hidrelétricas como a fonte de energia mais comum devido a riqueza de rios no país. No entanto a hidroeletricidade, por depender de fatores climáticos. Em épocas de seca pode chegar a ter valores críticos no ponto de vista de segurança energética. Caso esse recurso fique escasso a oferta de energia diminuirá ocasionando uma elevação nos preços da energia no país. [1]

Outro tipo de fonte de energia que o Brasil utiliza para suprir sua demanda energética são as fontes térmicas não renováveis, sendo elas a queima do óleo, carvão e do gás natural. Dados recentes informam que usinas termelétricas à combustíveis fósseis, incluindo nuclear, chegaram a 26% do suprimento energético elétrico em 2015 frente a um decréscimo na geração hidráulica de 81% para 62% entre 2011 e 2015, muito disso devido a grave estiagem no período. Como consequência as emissões de carbono na geração de energia elétrica subiram de 82 para 137 kgCO₂/MWh no período analisado. [2]

Nota-se que uma questão que deve ser levada em consideração atualmente é o desenvolvimento sustentável. Pensando nisso, a energia solar pode desempenhar um importante papel na expansão da matriz elétrica brasileira, aumentando sua resiliência devido à diversificação das fontes, aumentando o controle hídrico nos reservatórios principalmente em períodos de seca e reduzindo as emissões de carbono.

Partindo disso, este trabalho idealiza a troca de energias convencionais para sistemas fotovoltaicos no prédio da biblioteca da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), *campus* Santa Mônica, visando a sustentabilidade e redução de gastos com contas de luz. Para isso, foi desenvolvido um projeto de usina fotovoltaica no telhado da biblioteca, realizada uma análise econômica para aquisição dos equipamentos e o cálculo do tempo de retorno do investimento.

2. JUSTIFICATIVA

É inegável e urgente a necessidade de se investir em fontes energéticas que supram a crescente demanda e estejam alinhadas com a questão ambiental. Considerando que a energia solar é uma alternativa renovável, limpa e eficiente, esse trabalho busca apresentar a viabilidade

e vantagens de se adotar um sistema solar através de uma simulação da capacidade de geração de energia elétrica do prédio da biblioteca UFU, *campus* Santa Mônica, juntamente com a economia que ela pode proporcionar a universidade.

3. DESENVOLVIMENTOTEÓRICO

3.1 Evolução da energia solar fotovoltaica

Descoberto por Edmond Becquerel em 1839, o efeito fotovoltaico é o surgimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica ocorrida pela absorção de luz. O primeiro mecanismo fotovoltaico foi feito em 1876 a partir dos estudos da física do estado sólido e somente em 1956, iniciou-se a produção industrial juntamente com o crescimento da área de eletrônica [3].

Inicialmente as empresas do setor de telecomunicações buscaram as fontes de energia solar para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo ocorrido que impulsionou as fontes de energia solar foi a “corrida espacial”, pois as células fotovoltaicas eram e continuam sendo o melhor meio em questão de menor custo, peso e segurança para fornecer a energia necessária para longos períodos de alimentação de equipamentos eletroeletrônicos no espaço [3].

Na Figura 1 encontram-se os principais eventos ocorridos para o desenvolvimento dos equipamentos de conversão da energia solar fotovoltaica.

A evolução dos sistemas fotovoltaicos está fazendo com que haja uma redução no seu preço e um aumento na confiabilidade do sistema. Devido a isso, a procura por essa tecnologia por parte de grandes empresas cresceu exponencialmente. Conforme a previsão da agência internacional de energia (IEA - International Energy Agency), em 2030 aguarda-se um aumento de 5% e em 2050 um aumento de 11% do uso de energia fotovoltaica a níveis globais [4].

1800	Descoberta do Selênio (Se) (Berzelius)
1820	Preparação do Silício (Si) (Berzelius)
1840	Efeito Fotovoltaico (Becquerel)
1860	Efeito Fotocondutivo no Se (Smith)
	Retificador de Ponto de Contato (Braun)
1880	Efeito Fotocondutivo no Se (Adams & Day)
	Célula Fotovoltaica de Se (Fritts/Uljanin)
1900	Fotosensitividade em Cu-Cu ₂ O (Hallwachs)
1910	
	Efeito Fotovoltaico com Barreira de Potencial (Goldman & Brodsky)
1920	Monocristal a partir do Si Fundido (Czochralski)
	Retificador de Cu-Cu ₂ O (Grondahl)
1930	Célula Fotovoltaica de Cu-Cu ₂ O (Grondahl & Geiger)
	Teorias de Bandas em Sólidos (Strutt/Brillouin/Krönig & P)
	Teorias de Células com Barreiras V e H (Schottky et al)
1940	Teoria da Difusão Eletrônica (Dember)
	Aplicações Fotométricas (Lange)
	1% de Eficiência em Células de Sulfeto de Tálio (Nix & Treptow)
1950	Crescimento de Células Fotovoltaicas com Junção (Ohl)
	Teoria da Junções <i>p-n</i> (Schockley)
1954	Célula Solar de Si (Pearson, Fuller & Chapin)
1955	Junções <i>p-n</i> Difundidas (Fuller)
1960	Célula Solar de CdS (Reynolds et al)
	Teorias de Células Solares (Piann & Roosbroeck/Prince)
1962	O "Bandgap" e a Eficiência das Células (Loferski, R. & W)
	Teoria da Resposta Espectral, Mecanismo de Perdas (Wolf)
	Efeitos de Resistência em Série (Wolf & Rauschenbach)
	Células de Si <i>n/p</i> Resistentes a Radiação (Kesperis & M.)
	Contatos Evaporados de Ti-Ag (BTL)
1973	Células Violeta com 15,2% de Eficiência
1976	Células de Silício Amorfo (a-Si)
1992	Células Metal-Insulator-Semicondutor (MIS) de 24% de Eficiência
1998	Células de Silício Monocristalino com Eficiência de 24,7%
1999	Potência Instalada Acumulada Atinge o Primeiro GWp
2002	Potência Instalada Acumulada Dobra em Relação a 1999
2005	Eficiência Superior a 20% para Células em Silício Policristalino
2006	Células Multijunção com Rendimentos Superiores a 34%
	Células de Tripla Junção Superam os 40 % de Eficiência
2008	Módulos de c-Si Dominam 87% do Mercado (John Wiley & Sons, 2011)
	Expansão de Módulos de Filme Fino (a-Si, CdTe e módulos CIS)
2009	Mais de 23 GWp Instalados (EPIA)
2011	Mais de 70 GWp de Potência Instalada Acumulada (EPIA, 2012)
2012	Potência Instalada Acumulada Supera 100 GWp (EPIA, 2013)

Figura 1 - Eventos importantes para o desenvolvimento das células fotovoltaicas [5].

3.2 Classificação dos sistemas fotovoltaicos (SFV)

Os SFV são classificados de duas formas, são elas: on-grid, que são sistemas conectados à rede, e off-grid, que são sistemas isolados.

3.2.1 Sistema on-grid

Os sistemas on-grid são sistemas conectados à rede elétrica. São uma fonte de energia que complementa o sistema elétrico e são instalados em locais que já tem acesso à energia elétrica. A rede da concessionária é como uma bateria que recebe o excedente da energia gerada pelo sistema [6].

Este sistema utiliza a geração distribuída e sua classificação se dá de acordo com a potência gerada. Em um sistema fotovoltaico de microgeração, a unidade consumidora normalmente está em residências ou em lotes próximos ao local de consumo da energia gerada por este tipo de sistema. Já as unidades que são classificadas de minigeração, em sua maioria são prédios comerciais [6].

Os componentes necessários para instalação de um sistema on-grid são representados (Figura 2) e descritos a seguir:



Figura 2 - Sistema conectado à rede [7]

1. Painel fotovoltaico: ele é o responsável por converter a radiação solar em energia elétrica de corrente contínua (CC). Cada painel é composto por células fotovoltaicas. Os painéis

fotovoltaicos podem ser instalados em telhados e fachadas residenciais, comerciais, industriais, entre outras unidades consumidoras [6].

2. Inversor: este equipamento transforma a energia de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), para que as unidades consumidoras residenciais ou comerciais possam fazer uso dessa energia. O inversor pode deixar a tensão e a frequência compatíveis com a rede elétrica da concessionária, ao qual o sistema está interligado [6]. Conforme [8], os inversores, para serem instalados em sistemas fotovoltaicos, devem apresentar forma de onda senoidal pura, eficiência superior a 85% na faixa entre 50% e 100% da potência nominal e distorção harmônica total (DHT) menor que 5%, em qualquer potência de operação. Os inversores também devem possuir as demais características [3]:

- alta confiabilidade e baixa manutenção;
- operação em uma faixa ampla de tensão de entrada;
- boa regulação na tensão da saída;
- baixa emissão de interferência eletromagnética e de ruído audível;
- tolerância aos surtos de partida das cargas a serem alimentadas;
- segurança para pessoas e instalações;
- grau de proteção IP adequado ao tipo de instalação;
- garantia de fábrica de pelo menos dois anos.

3. Quadro de distribuição: Após a energia ser produzida pelo painel fotovoltaico e transformada de CC para CA pelo inversor, a energia é conduzida ao quadro de distribuição do local no qual o sistema está sendo implantado para que, assim, a energia seja distribuída e utilizada [6].

4. Aparelhos elétricos: A energia produzida chega às tomadas nas quais são conectados os aparelhos elétricos e eletrônicos que farão uso da energia fotovoltaica para o próprio funcionamento [6].

5. Medidor de energia bidirecional: Tem a função de fazer o monitoramento da energia consumida e injetada na rede. Sendo assim, caso o SFV produza menos energia elétrica do que o consumo no momento, a rede da concessionária fornece, automaticamente, o necessário para que não falte energia para o consumidor. No caso oposto, ao produzir mais energia do que o necessário no momento, o medidor faz com que o excedente seja injetado na rede elétrica da concessionária, contabilizando esta energia e gerando um saldo positivo na conta de energia mensal do consumidor/gerador, sendo este saldo automaticamente deduzido quando o cliente

utilizar a energia da rede novamente. Logo, o medidor de energia bidirecional registra a energia consumida e excedente gerada para compensação de créditos no fim do mês [6].

3.2.2 Sistema off-grid

Conhecido como sistemas isolados ou sistemas não conectados à rede elétrica, o sistema off-grid não depende da rede elétrica convencional para seu funcionamento [6].

Devido à inviabilidade econômica e aos altos custos de distribuição e transmissão, juntamente com a baixa demanda de energia das localidades mais remotas como em zonas rurais, sítios, fazenda entre outros, o uso do sistema off-grid se faz mais presentes nessas regiões [6].



Figura 3 - Sistema isolado [7]

O sistema off-grid é composto por quatro equipamentos (Figura 3), sendo eles:

1. **Painel fotovoltaico:** igual ao sistema on-grid.
2. **Controladores de carga:** são responsáveis pela proteção do banco de baterias ou da bateria contra descarga profunda ou sobrecarga. Normalmente ele é usado em sistemas menores em que os equipamentos utilizados na unidade consumidora são de baixa tensão e CC. Caso ocorra alguma falha no controlador de carga podem haver danos

irreversíveis aos equipamentos. Eles devem ser projetados levando em consideração os vários tipos de bateria existente. No momento em que a bateria atinge sua plena carga, os controladores devem desconectar o gerador para interromper o fornecimento de energia para o estado de carga da bateria chegar a um nível mínimo de segurança. Isso deve ser feito para que haja um aumento da vida útil da bateria [6].

3. **Baterias:** em sistemas isolados há a necessidade de armazenar-se a energia que foi gerada e não foi consumida, e a bateria é quem faz esse papel no off-grid. Alguns sistemas isolados, como no caso da irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocada, não se faz necessário o uso de baterias, pois toda a energia gerada é consumida no mesmo momento.

Existem vários tipos de baterias, porém as mais utilizadas são as de chumbo ácidas devido a sua maior viabilidade econômica, ainda que outros tipos como a de lítio e níquel-cádmio tenham maior eficiência e vida útil [6].

4. **Inversor:** igual ao sistema on-grid.

3.3 Radiação solar

A estrela central do nosso sistema solar é o Sol, no qual os outros corpos realizam o movimento de translação ao redor [4]. O Sol é essencialmente formado por uma esfera de gás incandescente, no qual há o núcleo, as zonas radioativas e convectivas, as camadas fotosfera e cromosfera e a coroa [9]. A Figura 4 detalha melhor a sua composição.

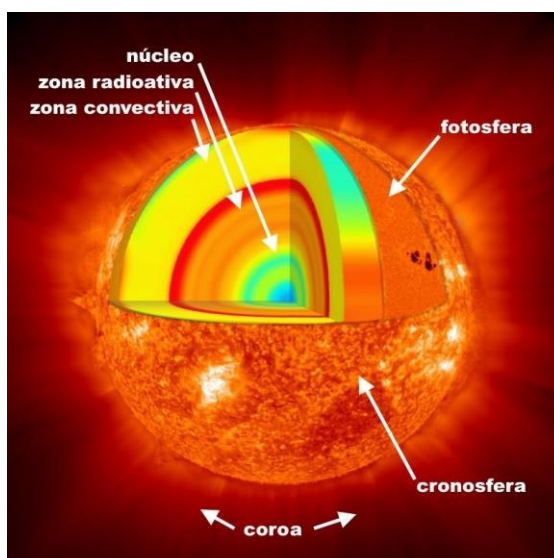


Figura 4 - Camadas do Sol [10]

Tabela 1 - Principais características do Sol. [4].

Principais características do Sol	
Massa	$1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$
Raio	696.000 km
Densidade média	1.409 kg m^{-3}
Densidade central	$1,6 \cdot 10^5 \text{ kg m}^{-3}$
Distância	1 UA ou $1,499 \cdot 10^8 \text{ km}$
Potência Luminosa	$3,83 \cdot 10^{26} \text{ W}$
Temperatura efetiva	5.785 K
Temperatura central	$1,5 \cdot 10^7 \text{ K}$
Composição química principal	Hidrogênio = 91,2% Hélio = 8,7% Oxigênio = 0,078% Carbono = 0,043%
Período rotacional no Equador	25 dias
Período rotacional na latitude 60°	29 dias

A energia que o Sol irradia é tão grande que somente 1 segundo da sua irradiação é capaz de suprir a energia que a Terra consome e vem consumindo desde o início de sua formação. Sua energia é imensurável, contudo não chega integralmente ao planeta Terra, devido à distância de aproximadamente 150 milhões de quilômetros que há entre a Terra e o Sol [9].

3.4 Células Fotovoltaicas

Os dispositivos fotovoltaicos não fazem uso da estrutura normal do silício como os diodos, por exemplo. Ao contrário disso, usa-se uma camada fina de óxido transparente, tendo ele uma alta condutividade elétrica. As camadas de antirreflexo são usadas somente para cobrir as células [11].

O silício normal tem características bem diferentes dos filmes policristalinos, sendo os policristalinos melhores para criar um campo elétrico entre dois materiais semicondutores diferentes [11].

3.4.1 Células de silício monocristalino

São obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. As células são retiradas através de cortes das barras no formato de pastilhas finas (0,4 - 0,5 mm² de espessura). Sua eficiência em converter luz solar em eletricidade é superior a 12% [11].



Figura 5 - Estrutura da célula de silício monocristalina [11].

3.4.2 Células de silício policristalino

São produzidas a partir de blocos de silícios que são obtidos da fusão de silício puro em moldes especiais. O silício dentro dos moldes no estado líquido é esfriado lentamente até solidificar. Nesse processo forma-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Sua eficiência é um pouco menor que as células de silício monocristalinas [11].

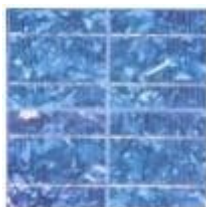


Figura 6 - Estrutura da célula de silício policristalina [11].

3.4.3 Células de silício amorfo

São células obtidas via deposição de camadas finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal, tendo uma eficiência que varia entre 5% a 7% [11].



Figura 7 - Estrutura da célula silício amorfo [11].

3.4.4 Células de filmes finos

O Silício Amorfo Hidrogenado ($a\text{-Si}^3$) consiste em uma tecnologia fotovoltaica em filmes finos, também chamados películas delgadas. Essa tecnologia é melhor empregada em produtos onde o consumo de energia é baixo, como calculadoras, relógios e outros. Essas células são eficientes sob iluminação artificial e os filmes finos são depositados sobre substratos de baixo custo, como vidro, aço, inox e alguns plásticos. Painéis solares também foram desenvolvidos, sendo flexíveis, inquebráveis, mais leves, semitransparentes e com superfícies curvas. Entretanto, apesar de sua versatilidade, o recorde de eficiência em células de $a\text{-Si}$ individuais disponível no mercado está na faixa de 8-9%. Por sua aparência estética mais atraente, esse material tem encontrado aplicações arquitetônicas diversas, destacando-se como material de revestimento uma vez que seu custo por metro quadrado (grandeza de interesse nesse aspecto) é inferior à metade do custo da tecnologia convencional do silício.

O CdTe^4 é o mais recente no mercado fotovoltaico e também na forma de filmes finos. Futuramente outro competidor no mercado são os compostos baseados no Disseleneto de Cobre e Índio pois em pequenas áreas produzidas em laboratório apresentaram eficiência em torno de 18%.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.2 ESTUDO DO LOCAL DA INSTALAÇÃO

Uma das vantagens de fazer uso da energia solar é que ela dispensa a construção de novos locais, sendo possível a utilização de telhados e fachadas de edificações já existentes [5].

4.2.1 Localização

A Biblioteca está localizada nas coordenadas de latitude $18,919^\circ\text{S}$ e longitude $48,256^\circ\text{O}$, dentro da Universidade Federal de Uberlândia *campus* Santa Mônica, Avenida João Naves de Ávila, nº 2121 no bairro Santa Mônica de Uberlândia – MG.

4.2.2 Estrutura do telhado da Biblioteca UFU

O telhado é plano e não há prédios ou árvores em volta que possam prejudicar os raios solares no local. Porém, no próprio telhado há construções que podem gerar sombreamento e reduzir a área útil para instalação de placas fotovoltaicas (Figura 8). Portanto, para projeção da usina, foram estimadas as dimensões totais do telhado e das construções presentes através de imagens de satélite (Figura 9) e visita ao local.



Figura 8 - Estrutura do telhado da Biblioteca UFU Santa Mônica com construções maiores, denominadas A e B, e construções menores evidenciadas. Adaptado de [12].



Figura 9 - Estrutura do telhado da Biblioteca UFU Santa Mônica vista superior [13].

4.2.3 Avaliação do recurso solar

A maneira mais comum de se obter dados de radiação solar é via média de valores mensais da energia acumulada em um dia [5].

Para informar esses valores de energia acumulada no dia é usado um método de medição chamado Horas de Sol Pleno (HSP) que obtém o número de horas em que a irradiância solar perdurou constante por 1 kW/m^2 , de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo sol no local, acumulada durante um dado dia [5].

A Figura 10 mostra três formas de radiação solar e seus respectivos valores de HSP.

Para o dimensionamento da irradiação solar do local da instalação e o melhor ângulo de inclinação das placas solares do projeto, foi utilizado o software SunData que calcula a irradiação solar diária média mensal em todo o território nacional. O software está disponível gratuitamente no site da CRESESB.CEPEL e tem como objetivo oferecer um auxílio no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos [14].

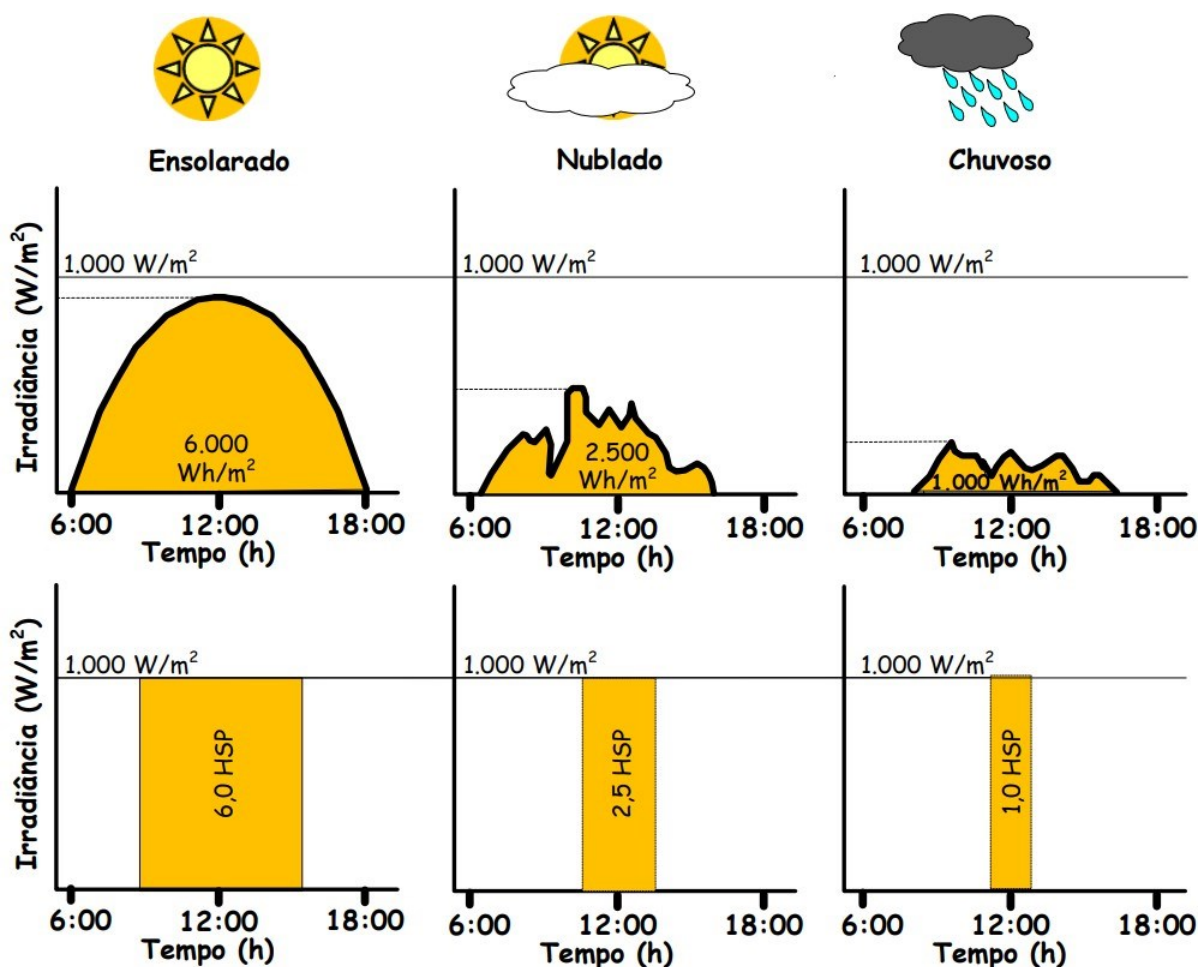


Figura 10 - Formas de radiação solar e HSP equivalentes [5].

4.2.4 Direção das placas solares

No caso do Brasil, que está localizado no hemisfério sul do planeta, o desvio ao azimuth solar deve ser direcionado para o norte geográfico, pois dessa maneira o sistema fotovoltaico obterá melhor eficiência devido à inclinação do eixo central da terra e aos movimentos de translação da Terra [15].

43 PROJEÇÃO DA USINA FOTOVOLTAICA

Como é necessário que a biblioteca possua energia 24 horas ao dia, o sistema escolhido para a realização do estudo é o On-Grid devido a maior confiabilidade e segurança, uma vez que, em caso de falha, é possível utilizar a energia da concessionária.

4.3.1 Escolha dos equipamentos

Foram escolhidos os módulos fotovoltaicos, Medidor bidirecional e inversor que serão utilizados na usina, trazendo suas devidas especificações. Foram considerados fatores como eficiência, potência e preço, buscando o melhor custo/benefício. Para pesquisa e comparações de preço, utilizou-se sites de buscas. Todos os equipamentos escolhidos tem aprovação do INMETRO.

4.3.2 Projeto solar

O projeto da usina solar foi desenvolvido no software PV SOL *PREMIUM* 2020. Através do software PV SOL o telhado foi extrudado a partir de imagens de satélite do Google e reconstruído com dimensões de comprimento e largura muito aproximados da estrutura real.

A placa fotovoltaica a ser projetada foi personalizada, considerando as dimensões e características internas da placa escolhida. Após, foram posicionadas, de modo automático, maximizando o uso da área útil do telhado. Este posicionamento automático foi configurado levando em conta: (1) restrições ao redor das construções presentes no telhado para evitar o sombreamento sobre as placas; (2) espaçamento entre as fileiras de módulos que será de 1 metro para que uma fileira não incida sombra na outra e haja possibilidade de locomoção entre as mesmas; (3) distanciamento da borda, de modo a permitir passagem para manutenções e afins.

A potência total da usina foi calculada a partir do número máximo possível de placas a serem instaladas. Esta informação foi utilizada na escolha do modelo e quantidade de inversores necessários.

44 ANÁLISES FINANCEIRAS

4.4.1 Levantamento financeiro

O levantamento de preços dos equipamentos foi feito através dos sites das marcas escolhidas. O custo estrutural foi dimensionado com auxílio do catálogo da Romagnole [16]. Já para estimativa do custo da mão de obra, foi utilizada uma pesquisa feita pelo Portal Solar em setembro de 2020, onde é feita uma média dos valores fornecidos pelas empresas em relação a potência demandada do sistema [17].

4.4.2 Tempo de retorno

No momento em que o valor economizado na conta de energia devido a geração da usina solar for igual ao valor investido no projeto, tem-se o tempo de retorno. O tempo de retorno foi calculado a partir da equação:

$$\text{Tempo de Retorno} = \frac{\text{Valor Total do Projeto}}{\text{Energia Diária Gerada} \times \text{Valor do kWh}}$$

O valor cobrado em 2020 pela CEMIG do kWh, com os impostos, é de R\$ 0,959 - sem adicionar tarifas e valores cobrados relativo à bandeira [18]. Já a energia diária gerada pela usina solar foi calculada pela equação:

$$\text{Energia Diária Gerada} = \text{Potência Instalada} \times \text{Irradiação Solar Diária} \times \% \text{Perdas}$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ESTUDO DO LOCAL DA INSTALAÇÃO

5.1.1 Estrutura do telhado da Biblioteca UFU

No telhado da biblioteca há 2 construções maiores e 19 menores (Figura 8). Suas dimensões estimadas aproximadas foram:

Tabela 2 – Estimativas aproximadas das dimensões da biblioteca, construções maiores A e B e construções menores

	Largura	Comprimento	Altura
Biblioteca	45m	45m	12m
Construções maiores			
A	2,5m	4,5m	4m
B	3m	6m	4m
Construções menores	3m	3m	1,5m

Apenas a altura não pôde ser estimada a partir das imagens de satélite extrudadas pelo software, sendo necessária visita e fotografias (Figura 11).



Figura 11 – Lateral da biblioteca UFU *campus* Santa Mônica, com as estimativas de altura [Autor].

5.1.2 Avaliação do recurso solar do local da instalação

Os dados de latitude e longitude da biblioteca (latitude 18,919°S e longitude 48,256°O) foram colocados no software SunData para calcular qual a irradiação no local e qual o melhor ângulo de inclinação das placas. Obteve-se os seguintes dados:

Tabela 3 - Maior média anual de inclinação e irradiação solar. Adaptado de [14].

Maior média anual	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	20° N	5,04	5,57	5,19	5,56	5,41	5,42	5,62	6,35	5,72	5,5	5,14	5,17	5,47

Conforme a tabela 3, a melhor média de inclinação das placas solares do local do projeto é 20° ao norte e a média anual de irradiação é 5,47 kwh/m². dia.

52 PROJEÇÃO DA USINA FOTOVOLTAICA

5.2.1 Escolha dos equipamentos

- **Módulos fotovoltaicos**

Com o intuito de encontrar o melhor painel custo/benefício, foi realizado um levantamento de algumas das principais marcas que atendem o mercado brasileiro. Através das especificações técnicas de cada marca foram avaliados fatores como eficiência, potência, dimensão e preço (Tabela 4), os valores destacados são os melhores valores para cada categoria [19].

Tabela 4 - Comparações de Painéis Solares [Autor].

Marca	Modelo	Eficiência (%)	Potência (W)	Dimensões (mm)	Estimativa de preço (R\$)	Estimativa de preço x Potência
Canadian Solar	CS3U-355P	17,89%	355	2000 X 992 X 35	R\$700,00	R\$1,97
Yingli	YL330P-35B	17%	330	1960 x 992 x 40	R\$629,00	R\$1,91
OSDA	ODA380-36-M	19,26%	380	1980 x 996 x 40	R\$799,00	R\$2,10
Chint Solar	CHSM6612P	17,6%	340	1954 x 990 x 40	R\$678,00	R\$1,99

Na Tabela 4 nota-se que a placa da marca OSDA, modelo ODA380-36-M possui a maior eficiência e potência entre as marcas pesquisadas, porém a prioridade para o projeto é utilizar a placa com o melhor custo/benefício e neste quesito nem uma outra marca supera a Yingli modelo YL330P-35B devido a sua estimativa de preço x potência, logo ela foi a escolhida (Figura 12). As especificações técnicas do painel escolhido, encontra-se no Anexo 1 deste trabalho.



Figura 12 - Paine solar Yingli [20].

- **Inversor**

O inversor escolhido foi o CSI-30KTL-GI-L da marca Canadian Solar (Figura 13) que é uma empresa canadense considerada top 5 no ranking mundial de soluções fotovoltaicas em 2019 [21]. Esse reconhecimento que a Canadian Solar obteve nos assegura a procedência do fabricante, com o intuito de prevenir problemas futuros.

A fabricante garante eficiência de 98,6% no modelo CSI-30KTL-GI-L o que é um fator muito importante a ser analisado na escolha de um inversor. A faixa de preço praticada no Brasil

desse inversor gira em torno de 21 mil reais. A folha de dados pode ser visualizada no anexo 2 deste trabalho.



Figura 13 - Inversor CSI-30KTL-GI-L Canadian Solar. [Anexo 2]

As principais características técnicas deste inversor podem ser vistas na Tabela 5. O inversor escolhido possui 4 pontos de máxima potência (MPPT). A tecnologia MPPT permite transformar a energia variável que chega ao inversor na melhor relação de corrente e tensão, melhorando o funcionamento e a eficiência [22].

Tabela 5 - Principais especificações técnicas do inversor da Canadian Solar. [Anexo 2]

Grandeza	Valor
Entrada CC	
Potência máxima de entrada	45 kW
Tensão máxima de entrada	1100 V
Faixa de tensão	200-800 V
Corrente máxima de entrada	57 A
Nº de entradas CC	6
Nº de MPPT	2
Saída CA	
Potência máxima nominal de saída	30 kW
Tensão de saída nominal	220 V
Faixa de tensão de saída	180 – 270 V
Corrente de saída nominal	78,8 A
Eficiência	97%

- **Medidor Bidirecional**

Com o objetivo de registrar a energia recebida da distribuidora e a energia solar injetada na rede elétrica, o Medidor bidirecional é um equipamento imprescindível para um projeto de energia solar. Neste projeto o medidor escolhido foi o de alta precisão trifásico da marca Fronius, modelo 50KA-3 (Figura 14) que tem faixa de preço de 2 mil reais. As especificações técnicas podem ser lidas no Anexo 3.

O medidor possui um display LCD que facilita a visualização do quanto foi consumido de energia no painel.



Figura 14 - Medidor Bidirecional da marca Fronius [23].

A Tabela 6 informa as principais características técnicas do Medidor bidirecional.

Tabela 6 - Principais especificações técnicas do medidor bidirecional da Fronius [Anexo 3].

Grandeza	Valor
Tensão máxima	400 - 415 V
Corrente máxima	3 x 50 A
Frequência	50 - 60 Hz
Temperatura de operação	-5°C - +55°C

5.2.2 Projeto solar

Utilizando o software PVSOL *PREMIUM* 2020, o telhado da biblioteca UFU foi extrudado e reconstruído a partir de imagens de satélite (Figura 15).

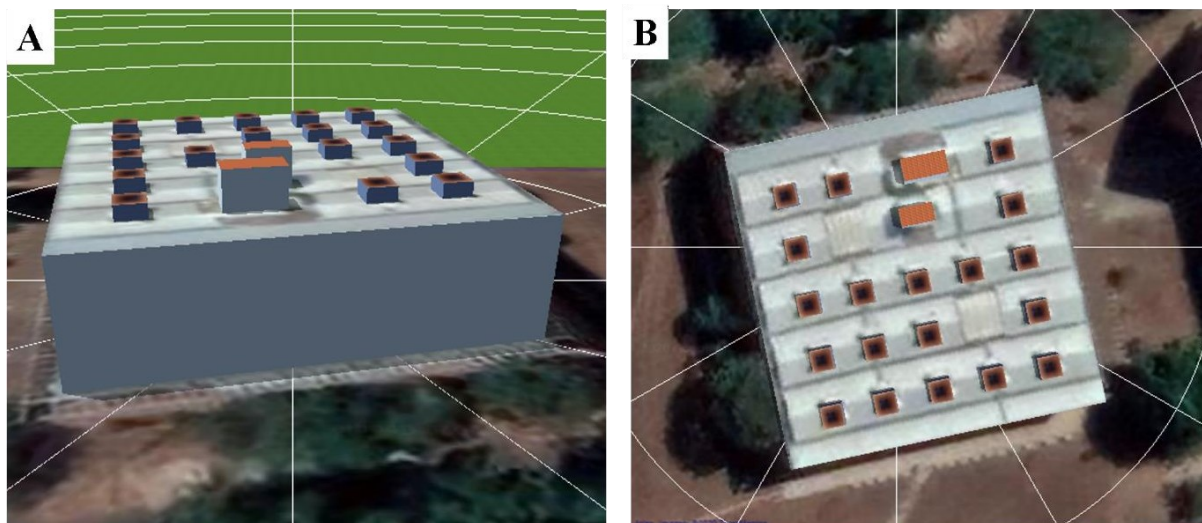


Figura 15 – A) Vista norte do telhado da Biblioteca -UFU reconstruído no software PVSOL; B) Vista superior do telhado da Biblioteca -UFU reconstruído no software PVSOL [Autor].

Em seguida, foi calculado o sombreamento no telhado ao longo do ano. Em locais com alto índice de sombreamento não é interessante a instalação de placas, pois sua geração seria prejudicada. Segundo o software, as áreas em amarelo possuem maior índice de sombra e as áreas em verde menor índice. As áreas com maior índice de sombra foram restritas para não haver instalação de placas.



Figura 16 – Índice de sombreamento anual no telhado da biblioteca UFU *campus* Santa Mônica [Autor].

Além das áreas com grande índice de sombra, foram restritas também a borda do telhado, de modo a permitir passagem para manutenções e afins, e estabelecido o espaçamento

de 1 metro entre as fileiras de módulos, para que uma fileira não incida sombra na outra e haja possibilidade de locomoção entre as mesmas (Figura 17).

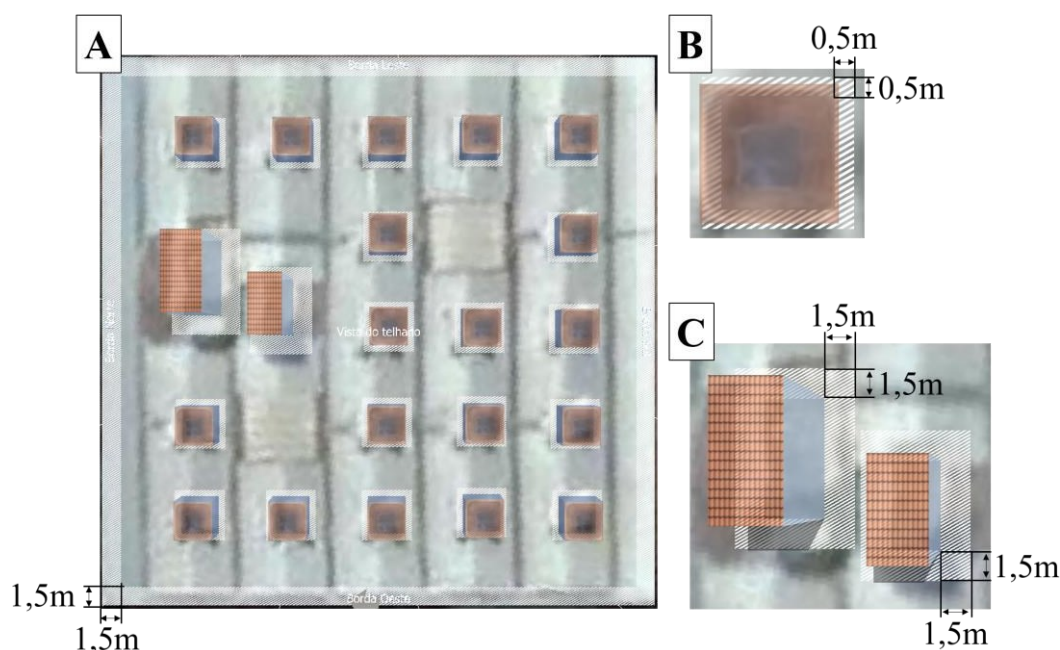


Figura 17 - A) Visão geral do telhado da Biblioteca-UFU reconstruído no software PVSOL, destacando-se o distanciamento da borda estabelecido; B) Representação de uma das construções menores presentes no telhado, destacando-se a restrição estabelecida em sua volta; C) Representação das construções maiores presentes no telhado, destacando-se as restrições estabelecidas em suas voltas.

Com todas as configurações feitas, o software calculou a quantidade máxima de módulos possíveis. No total, 254 módulos YL330P-35B com dimensões de 1960mm x 992mm x 40mm foram posicionados, somando 83,82 kWp.

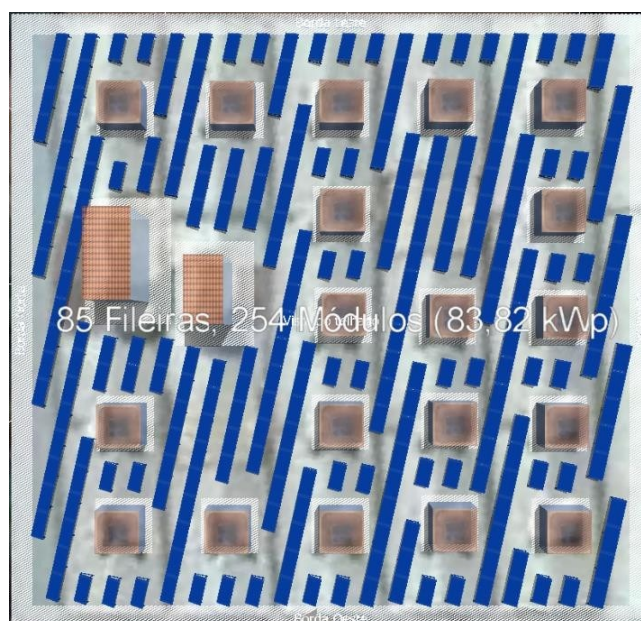


Figura 18 - Telhado biblioteca UFU Santa Mônica com os módulos instalados

Para a transformação da energia CC gerada pelas placas para energia CA, que será utilizada pela biblioteca ou levada para a rede da concessionária caso haja excedente, é necessário o inversor. O mesmo deve ter a potência superior ou igual à potência instalada. Considerando o valor de 83,82 kWp gerado pelas placas e o inversor escolhido, que suporta até 30 kW na entrada CC, foi necessário calcular a quantidade de inversores necessária para esse projeto. Para isto, foi utilizada a equação:

$$n^{\circ} \text{ Inversores} = \frac{\text{Potência instalada}}{\text{Potência Entrada CC Inversor}}$$

$$n^{\circ} \text{ Inversores} = \frac{83,82 \text{ kWp}}{30 \text{ kW}}$$

$$n^{\circ} \text{ Inversores} = 2,794$$

Arredondando para cima, revela-se a necessidade de 3 inversores CSI-30KTL-GI-L que totalizam 90 kW de potência de saída CA. A capacidade excedente permite uma futura ampliação da usina.

53 ANÁLISES FINANCEIRAS

5.3.1 Levantamento Financeiro

O levantamento de preços dos equipamentos foi feito através dos sites das marcas escolhidas, conforme descrito na Tabela 7.

Tabela 7 - Levantamento Financeiro do Sistema

EQUIPAMENTO	QTD.	VALOR UNITÁRIO	SUB TOTAL
Módulo	254	R\$629,00	R\$159.766,00
Inversor	3	R\$21.000,00	R\$63.000,00
Relógio Bidirecional	1	R\$2.000,00	R\$2.000,00
Estrutura	254	R\$250,00	R\$63.500,00
Total		R\$288.266,00	

Segundo pesquisa do Portal Solar, para sistemas que tem uma potência instalada em torno de 77,28 kWp, o projeto completo gira em torno do valor de R\$ 305.465,19, fazendo uma aproximação para esta usina que é de 83,82 kWp, pode-se então atribuir um valor aproximado de R\$ 50.000,00 de mão de obra necessária para instalação da usina. Assim, somando-se o custo estrutural ao de mão de obra, o valor total do projeto aproxima-se de R\$ 338.266,00.

5.3.2 Tempo de Retorno do Investimento

A energia diária gerada pela usina solar foi calculada em 366,796 kWh por dia, a partir da equação:

$$\text{Energia Diária Gerada} = \text{Potência Instalada} \times \text{Irradiação Solar Diária} \times \% \text{Perdas}$$

onde o valor da potência instalada é de 83,82 kWp, a irradiação solar diária é de 5,47 kWh/m².dia e a porcentagem de perdas (perdas possíveis no sistema, como perdas em cabos, sombreamento nas placas, temperatura das placas, entre outros) foi considerada 20% [24].

O tempo de retorno, por sua vez, resultou em 962 dias, o que, dividido por 365 dias anuais, converte-se em aproximadamente 2,7 anos ou 2 anos e 9 meses.

6. CONCLUSÕES

O projeto apresentado abrange não só estudos sobre energia fotovoltaica como também conhecimento em gerenciamento de projetos.

O uso de usinas solares em edificações tem diversas vantagens como: (1) ser uma fonte de energia silenciosa; (2) não necessitar de abrir áreas para sua instalação, pois ela pode ser instalada no telhado das edificações; (3) valorizar o imóvel; (4) não emitir gases poluentes e (5) gerar uma energia mais barata do que da concessionária – o que comprova-se no tempo de retorno aproximado do projeto de 2 anos e 9 meses, um tempo abaixo da média de retorno de investimento pelo valor investido.

Porém deve-se levar em consideração que no telhado da biblioteca da UFU *campus* Santa Mônica há construções que geram sombreamento sobre as placas. É possível, que na universidade tenham outros edifícios sem construções em seu telhado, talvez possibilitando a instalação de mais placas solares e não sofrendo com sombreamento sobre elas, o que geraria um custo benefício ainda maior para a UFU.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Atlas Brasileiro de Energia Solar”, 2ª Edição, São José dos Campos/SP, 2017. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: out. 2020.
- [2] MME - Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015 / Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2016
- [3] PINHO, J. T. et. al. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. 2. ed. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES, 2014

- [4] IEA – International Energy Agency. Solar Photovoltaic Energy. Publicação OECD. Paris, 2010.
- [5] CRESESB – CEPEL; GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Coleção Tópicos de Atualização em Equipamentos Elétricos. Rio de Janeiro, 2014.
- [6] ALVES, M. O. L. Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid. 2019. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019.
- [7] Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: out. 2020.
- [8] INMETRO. Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior. Brasil. [S.l.], 2011. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001652.pdf>>.
- [9] SOUZA, R. Livro Digital: Introdução a sistemas de energia solar fotovoltaica. Grupo de Trabalho Blue Sol. Disponível em: <www.blue-sol.com>. Acesso em: set 2020
- [10] Qual a temperatura do sol? Disponível em: <<https://socientifica.com.br/qual-a-temperatura-do-sol/>>. Acesso em: nov. 2020.
- [11] NASCIMENTO, C. A. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CÉLULA FOTOVOLTAICA. 2004. 21 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf. Acesso em: 21 set. 2020.
- [12] SANTOS, M. Biblioteca Campus Santa Mônica. Disponível em: <<http://www.comunica.ufu.br/noticia/2018/05/projeto-de-bibliotecario-da-ufu-e-destaque-em-concurso-nacional>>. Acesso em: set. 2020.
- [13] GOOGLE – Google Maps. Versão Online. Rua João Naves de Ávila, 2121. Uberlândia, 2020. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Uberl%C3%A2ndia,+MG/@-18.9169584,-48.2592458,285m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x94a4450c10bbbaef:0xae370c93616d5c9c!8m2!3d-18.9127534!4d-48.275484/>>. Acesso em: out. 2020.
- [14] Painel Potencial Solar - SunData v 3.0. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: out. 2020.
- [15] LIMA, J. V. F. et al. A influência do ângulo de inclinação na incidência de radiação solar em painéis fotovoltaicos. 2018. 172 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.bdm.unb.br/handle/10483/24290>. Acesso em: 19 out. 2020
- [16] Estruturas para painéis Fotovoltaicos. Romagnole. Disponível em: <www.romagnole.com.br>. Acesso em: dez. 2020.

- [17] Paine Solar: Preços e Custos de Instalação. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/paine-solar-precos-custos-de-instalacao.html#:~:text=O%20custo%20do%20projeto%20completo,mensal%20de%20186%20C3%20kWh.>>. Acesso em: nov. 2020.
- [18] Valores de tarifas e serviços Disponível em: <<https://novoportal.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Acesso em: nov. 2020.
- [19] As melhores marcas de painéis solares. Disponível em: <<https://www.mpptsolar.com/pt/melhores-marcas-de-paineis-solares.html>>. Acesso em: Outubro.2020.
- [20] Paine Solar Fotovoltaico 330W - Yingli YL330P-35B Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/paine-solar-fotovoltaico-yingli-yl330p-35b-330wp.html>>. Acesso em: nov. 2020.
- [21] “Qual o maior fabricante mundial de painéis solares fotovoltaicos?”. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/qual-maior-fabricante-mundial-paineis-solares-fotovoltaicos/>>. Acesso em: nov. 2020.
- [22] MPPT – Seguidor do Ponto de Máxima Potência – Eficiência Energética. Disponível em:<<https://energiasolar-microgr.com.br/inversores/mppt/>>. Acesso em: nov. 2020.
- [23] O contador bidirecional para detecção do consumo de energia na residência. Disponível em: <<https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos/residencial/monitoramento-de-sistema/hardware/fronius-smart-meter/fronius-smart-meter-63a-3>>. Acesso em: nov. 2020.
- [24] Módulos Fotovoltaicos - Perdas por Mismatch em Sistemas Fotovoltaicos Disponível em: <<https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/modulos-fotovoltaicos---perdas-por-mismatch-em-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: nov. 2020.

ANEXOS

Anexo 1 - Folha de Especificações Técnicas do módulo solar da Yingli, referente ao modelo YL330P-35B

YINGLI SOLAR

YGE 72 CELL SERIES 2

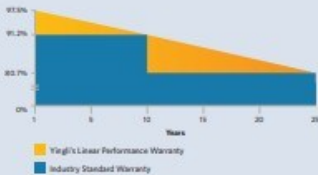


19.6%
CELL EFFICIENCY

10 YEAR
PRODUCT WARRANTY

0 - 5W
POWER TOLERANCE

25 Years Linear Warranty



■ Yingli's Linear Performance Warranty
■ Industry Standard Warranty

YINGLISOLAR.COM



IMPROVED POWER

NEVER SETTLE FOR LESS

Independently tested for proven product quality and long-term reliability. Millions of PV systems installed worldwide demonstrate Yingli's industry leadership.



Higher Durability

The multi-busbar design can decrease the risk of the cell micro-cracks and fingers broken.



High Power Density

High conversion efficiency and more power output per square meter, by lower series resistance and improved light harvesting.



PID Resistant

Tested in accordance to the standard IEC 62804, our PV modules have demonstrated resistance against PID (Potential Induced Degradation), which translates to security for your investment.



Advanced Glass

Our high-transmission glass features a unique anti-reflective coating that directs more light on the solar cells, resulting in a higher energy yield.

Yingli Green Energy

Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE), known as "Yingli Solar," is one of the world's leading solar panel manufacturers with the mission to provide affordable green energy for all. Yingli Solar makes solar power possible for communities everywhere by using our global manufacturing and logistics expertise to address unique local challenges.

YGE 72 CELL SERIES 2

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module type			YLUXXP-35b (XXX=Pmax)					
			YLUXXP-35b 1500V (XXX=Pmax)					
Power output	P_{max}	W	345	340	335	330	325	320
Power output tolerances	P_{max}	W	Q/+5					
Module efficiency	η_{mod}	%	17.7	17.5	17.2	17.0	16.7	16.5
Voltage at P_{max}	V_{mp}	V	38.5	38.1	37.7	37.3	36.9	36.5
Current at P_{max}	I_{mp}	A	8.97	8.93	8.89	8.85	8.82	8.78
Open-circuit voltage	V_{oc}	V	46.1	45.9	45.7	45.6	45.4	45.2
Short-circuit current	I_{sc}	A	9.45	9.41	9.37	9.33	9.29	9.25

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.
Average relative efficiency reduction of 3.3% at 200W/m² according to EN 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

	P_{nom}	W	254.5	250.8	247.1	243.4	239.7	236.0
Power output	P_{nom}	W						
Voltage at P_{nom}	V_{mp}	V	35.5	35.1	34.7	34.4	34.0	33.6
Current at P_{nom}	I_{mp}	A	7.18	7.14	7.11	7.08	7.06	7.02
Open-circuit voltage	V_{oc}	V	42.9	42.7	42.5	42.4	42.2	42.1
Short-circuit current	I_{sc}	A	7.64	7.60	7.57	7.54	7.51	7.47

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	45 ± 2
Temperature coefficient of P_{max}	γ	%/°C	-0.39
Temperature coefficient of V_{oc}	β_{voc}	%/°C	-0.30
Temperature coefficient of I_{sc}	α_{isc}	%/°C	0.05

OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	1000V _{DC} /1500V _{DC}
Max. series fuse rating *	15A
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow)	5400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

*DO NOT CONNECT FUSE IN COMBINER BOX WITH TWO OR MORE STRINGS IN PARALLEL CONNECTION

CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Cell (quantity / material / number of busbars)	72 / monocrystalline silicon / 12 or 5
Frame (material)	anodized aluminum alloy
Junction box (protection degree)	≥ IP67
Cable (length / cross-sectional area)	1100mm / 4mm ²

* Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may deviate slightly and are not guaranteed.

* The data do not refer to a single module and they are not part of the offer; they only serve for comparison to different module types.

QUALIFICATIONS & CERTIFICATES

IEC 61215, IEC 61730, CE, ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000:2015



© Yingli Green Energy Holding Co., Ltd.

DS_YGE72CELL SERIES 2 -35b_40mm_EU_EN_20190101_V04

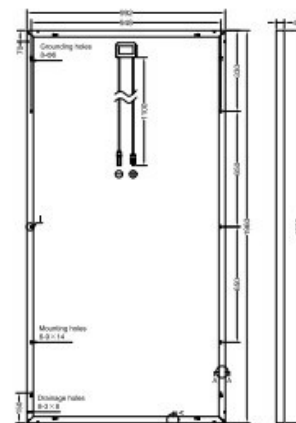
GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1960mm / 992mm / 40mm
Weight	22kg

PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	26
Number of pallets per 40' container	24
Packaging box dimensions (L / W / H)	1995mm / 1145mm / 1170mm
Box weight	616kg

Unit: mm



Warning: Read the Installation and User Manual in its entirety before handling, installing, and operating Yingli Solar modules.

Yingli Partners:

Yingli Green Energy Holding Co., Ltd.

service@yingli.com

Tel: +86-312-2188055

YINGLISOLAR.COM



Anexo 2 - Folha de Especificações Técnicas do inversor da Canadian Solar, referente ao modelo CSI-30KTL-GI-L



INVERSOR DE STRING TRIFÁSICO DE 15-30 KW

**CSI-15KTL-GI-LFL | CSI-20KTL-GI-LFL
CSI-25KTL-GI-L | CSI-30KTL-GI-L**

Os inversores de string sem transformador, em grade, da Canadian Solar ajudam a acelerar o uso de arquiteturas de string trifásicas em aplicações em telhados comerciais e pequenas aplicações de solo.

Uma alternativa econômica aos inversores centrais, estes inversores, aprovados pela NRTL, são blocos de design modular que oferecem alta saída e permitem economias de BoS significativas. Eles oferecem uma eficiência de conversão de até 97%, uma faixa de operação ampla de 200 a 850 V_{CC} e dois MPPTs para maximizar a captura de energia solar.



15-20 kW

25-30 kW



Garantia padrão, extensão até 20 anos

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

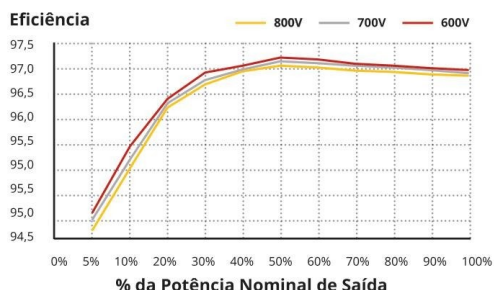
- Eficiência máxima de 97%,
Eficiência EU máxima de 96,5%
- 2 MPPTs para uma eficiência de sistema mais elevada
- Design sem transformador
- Frequência de comutação elevada e MPPTs ultrarrápidos asseguram a máxima eficiência em uma ampla faixa de carga.

ALTA CONFIABILIDADE

- Design térmico e resfriamento por convecção avançados
- Proteção contra sobrecorrente e sobretensão
- Proteção contra polaridade reversa CC e curto-circuito CA

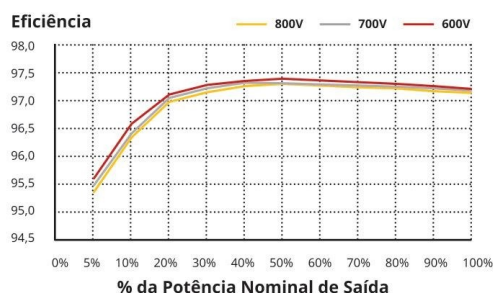
CURVA DE EFICIÊNCIA

CSI-20KTL-GI-LFL@220 V_{CA}



CURVA DE EFICIÊNCIA

CSI-30KTL-GI-LFL@220 V_{CA}



*Para informações detalhadas, consulte o Manual de Instalação.

CANADIAN SOLAR BRASIL

Av. Roque Petroni Junior, 999, 4º andar, Vila Gertrudes, São Paulo, Brasil, CEP 04707 910 | www.canadiansolar.com | sales.br@canadiansolar.com

DADOS TÉCNICOS/SISTEMA				
NOME DO MODELO	CSI-15KTL-GI-LFL	CSI-20KTL-GI-LFL	CSI-25KTL-GI-L	CSI-30KTL-GI-L
ENTRADA CC				
Máx. Potência PV	22,5 kW	30 kW	37,5 kW	45 kW
Máx. Tensão de Entrada CC	1000 V _{cc}		1100 V _{cc}	
Tensão/Potência de Partida da Entrada CC	350 V _{cc}		200 V _{cc}	
Número de MPPTs	2			
Faixa de Tensão de MPPT	200 - 800 V _{cc}		200 - 850 V _{cc}	
Máx. Corrente de Entrada (Imp)	40 A (20 A por MPPT)		57 A (28,5 A por MPPT)	
Máx. Corrente de Curto-Circuito (Isc)	56,2 A (28,1 A por MPPT)		89 A (44,5 A por MPPT)	
Número de Entradas CC	4 (2 por MPPT)		6 (3 por MPPT)	
Tipo de Desconexão CC	Chave de Carga CC Nominal			
SAÍDA CA				
Potência Nominal de Saída CA	15 kW	20 kW	25 kW	30 kW
Potência Nominal de Saída CA	16,5 kW	20 kW	27,5 kW	30 kW
Tensão Nominal de Saída	220 V _{ca}			
Faixa de Tensão de Saída*	180 - 270 V _{ca}			
Tipo de Conexão de rede	3 Ø / PE			
Corrente Nominal de Saída de Grade	39,4 A	52,5 A	65,6 A	78,8 A
Máx. Corrente de Saída	43,3 A	52,5 A	72,2 A	78,8 A
Frequência Nominal de Saída	50 / 60 Hz			
Faixa de Frequência de Saída*	47 - 52 / 57 - 62 Hz			
Fator de Potência	1 padrão (±0,8 ajustável)			
THDI	< 3%			
Corrente de Injeção CC	< 50 mA			
Tipo de Desconexão CA	Não Disponível		Chave de Carga CA Nominal	
SISTEMA				
Topologia	Sem Transformador			
Máx. Eficiência	97,0%			
Eficiência EU	96,5%			
Consumo Noturno	< 1 W			
AMBIENTE				
Grau de proteção	IP65			
Resfriamento	Resfriamento por Convecção Natural		Resfriamento Inteligente Redundante	
Faixa de Temperaturas de Operação	-25 ° C a +60 ° C			
Faixa de Temperaturas de Armazenamento	-40 ° C a +70 ° C			
Umidade de Operação	0 - 100% Condensação			
Altitude de Operação	4000 m			
Ruído Audível	<30 dBA @ 1 m			
MOSTRADOR E COMUNICAÇÃO				
Mostrador	LCD + LED			
Comunicação	Padrão: RS485 (Modbus)			
DADOS MECÂNICOS				
Dimensões (L / A / P)	530 x 700 x 356,5 mm		630 x 700 x 357 mm	
Peso	58,2 kg		63 kg	
Ângulo de Instalação	90 graus em relação à horizontal			
Entradas CC	Compatíveis com MC4			
SEGURANÇA				
Segurança e Padrão EMC	IEC62109-1/-2, AS3100, EN61000-6-1, EN61000-6-3			
Padrão da rede	EN50438, G59/3, AS4777, VDE0126-1-1, IEC61727			
Recursos Smart-Grid	Voltage-Ride Thru, Frequency-Ride Thru, Soft-Start, Volt-Var, Frequency-Watt, Volt-Watt			

*A "Faixa de tensão de Saída" e a "Faixa da Frequência de Saída" podem variar em função do padrão de grid específico.

A especificação e as principais características, descritas nesta ficha de dados podem divergir ligeiramente e não são garantidas. Devido à inovação, pesquisas e à melhoria contínua dos produtos, a Canadian Solar Inc. se reserva o direito de fazer ajustes nas informações descritas aqui, a qualquer tempo, sem aviso. Assegure-se, sempre, de obter a versão mais recente da ficha de dados que deve ser devidamente incorporada o contrato celebrado entre as partes, para governar todas as transações relativas à compra e venda dos produtos descritos neste documento.

Cuidado: Apenas para uso profissional. A instalação e manuseio de equipamento PV requer competência profissional e deve ser efetuada apenas por pessoas qualificadas. Por favor, leia as instruções de instalação e segurança, antes de usar o produto.

Anexo 3 - Folha de Especificações Técnicas do Medidor bidirecional da Fronius, referente ao modelo 50kA-3



Der Fronius Smart Meter ist ein bidirektionaler Zähler zur Optimierung des Eigenverbrauchs, zur Erfassung der Lastkurve und zu Steuerung der verschiedenen Energieflüsse. Dank hoher Messgenauigkeit und schneller Kommunikation über die Schnittstelle Modbus RTU wird bei Einspeisebegrenzungen eine schnellere und genauere dynamische Einspeiseregulierung als bei SO-Zählern ermöglicht.

Gemeinsam mit Fronius Solar.web ermöglicht der Fronius Smart Meter eine übersichtliche Darstellung des eigenen Stromverbrauchs. Bei den Fronius Speicherlösungen sorgt der Fronius Smart Meter für ein perfekt abgestimmtes Management der verschiedenen Energieflüsse, wodurch das gesamte Energiemanagement optimiert wird. Der Fronius Smart Meter eignet sich perfekt für den Einsatz der Wechselrichter GEN24 Plus und Tauro, sowie alle Fronius Wechselrichter mit einem Fronius Datamanager 2.0.

FRONIUS SMART METER

TECHNISCHE DATEN	FRONIUS SMART METER 63A-3	FRONIUS SMART METER 50kA-3 ¹⁾	FRONIUS SMART METER 63A-1
Nennspannung	400 - 415 V	400 - 415 V	230 - 240 V
Nennfrequenz		50 - 60 Hz	
Maximalstrom	3 x 63 A	3 x 50.000 A	1 x 63 A
Anschlussquerschnitt Strompfad	1 - 16 mm ²	0,05 - 4 mm ²	1 - 16 mm ²
Anschlussquerschnitt Kommunikation & Neutralleiter		0,05 - 4 mm ²	
Eigenverbrauch	1,5 W	2,5 W	1,5 W
Startstrom		40 mA	
Genauigkeitsklasse		1	
Genauigkeit Wirkenergie		Klasse B (EN50470)	
Genauigkeit Blindenergie		Klasse 2 (EN/IEC 62053-23)	
Überlast (kurzzeitig)		30 x I _{max} / 0,5 s	
Montage		Innenmontage (Hutschiene)	
Gehäuse	4 Module DIN 43880	4 Module DIN 43880	2 Module DIN 43880
Schutzart		IP 51 (Front), IP 20 (Klemmen)	
Arbeitsbereich	-25 - +55°C	-5°C - +55°C	-25°C - +55°C
Abmessungen (Höhe x Breite x Tiefe)	89,0 x 71,2 x 65,6 mm	89,0 x 71,2 x 65,6 mm	89,0 x 35,0 x 65,6 mm
Schnittstelle zum Wechselrichter		Modbus RTU (RS485)	
Display	8-stelliges LCD	8-stelliges LCD	6-stelliges LCD

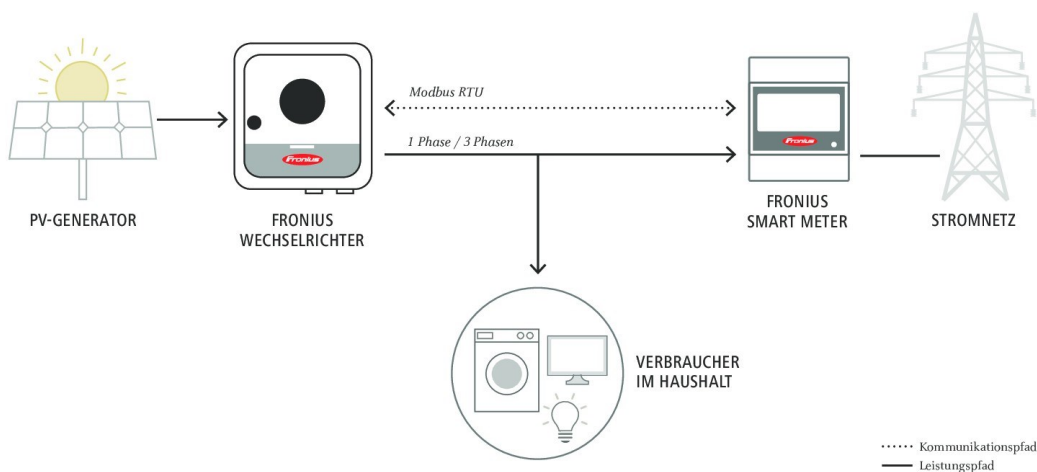
¹⁾ Wird ohne Stromwandler geliefert. Nähere Informationen zur Auswahl geeigneter Stromwandler finden Sie unter www.fronius.com.

DIE VORTEILE IM ÜBERBLICK

- / Schnelle und genaue dynamische Einspeiseregulungen
- / Übersichtliche Darstellung des Stromverbrauchs im Fronius Solar.web
- / Energiemanagement bei Fronius Speicherlösungen
- / Identifizierung von Optimierungsmöglichkeiten im PV-System
- / Überblick über große Verbraucher



KONFIGURATIONSSCHEMA



Der Fronius Smart Meter ist mit allen Wechselrichtern mit RS485-Schnittstelle (Modbus RTU) kompatibel. In bereits installierten Wechselrichtern ohne Schnittstelle kann der Fronius Smart Meter in Kombination mit dem Fronius Datamanager 2.0 jederzeit nachgerüstet werden.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

DREI BUSINESS UNITS, EINE LEIDENSCHAFT: TECHNOLOGIE, DIE MASSSTÄBE SETZT.

Was 1945 als Ein-Mann-Betrieb begann, setzt nun in den Bereichen Schweißtechnik, Photovoltaik und Batterieladen technologische Maßstäbe. Heute sind wir mit rund 4.760 Mitarbeitern weltweit tätig, und 1.253 erteilte Patente für Produktentwicklungen machen den innovativen Geist im Unternehmen deutlich. Nachhaltige Entwicklung heißt für uns, umweltrelevante und soziale Gesichtspunkte gleichberechtigt mit wirtschaftlichen Faktoren umzusetzen. Dabei hat sich unser Anspruch nie verändert: Innovationsführer sein.

Weitere Informationen zu allen Fronius Produkten und unseren weltweiten Vertriebspartnern und Repräsentanten erhalten Sie unter www.fronius.com

Fronius Schweiz AG
Oberglatterstrasse 11
8153 Rümlang
Schweiz
Telefon 0848 FRONIUS (37 66 487)
pv-sales-swiss@fronius.com
www.fronius.ch

Fronius Deutschland GmbH
Fronius Straße 1
36119 Neuhoof-Dorfborn
Deutschland
Telefon +49 6655 91694-0
pv-sales-germany@fronius.com
www.fronius.de

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Österreich
Telefon +43 7242 241-0
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com