

AUTOMAÇÃO PARA ÁRVORES SOLARES: DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA AUMENTO DE EFICIÊNCIA NA CAPTAÇÃO ENERGÉTICA.

ROGÉRIO SPAGNOLO SILVA

RESUMO: Atualmente, a crise energética tornou-se um dos motivadores da pesquisa tecnológica na área de energias renováveis visando à melhoria contínua da captação de energia através do uso de ferramentas e técnicas mais eficientes. A tecnologia apresentada possui como base a junção das seguintes tecnologias: árvores solares, que em suas configurações naturais possuem maior eficiência na captação energética quando comparados com os modelos planos de painéis solares, e um sistema de controle de rastreamento solar (sistema de posicionamento e orientação para melhor disposição e captação de incidência solar). A pesquisa acadêmica apresentada neste projeto tem como objetivo buscar conhecimento nas áreas de estudo da automação sensorial, estudo de células solares flexíveis, aplicação de disposição e convexidade natural das folhas, montagem e elaboração de dispositivos, dimensionamento, projeto teórico e aplicação prática.

Palavras-chave: Árvore Solar, Automação de alta eficiência, Energia renovável.

ABSTRACT: Nowadays, the energy crisis has become one of the motivators of technological research in renewable energy aiming at the continuous improvement of energy uptake using more efficient tools and techniques. The technology presented is based on the combination of the following technologies: solar trees, which in their natural configurations have greater efficiency in energetic capture when compared to the flat models of solar panels, and a control system of solar tracking (positioning and orientation system for better disposition and capture of solar incidence). The academic research presented in this project aims to seek knowledge in the areas of study of sensory automation, study of flexible solar cells, application of disposition and natural convexity of the leaves,

SILVA, 2020.

assembly and elaboration of devices, dimensioning, theoretical design and practical application.

Keywords: Solar tree, High Efficiency automation, Renewable energy.

INTRODUÇÃO

Quando se fala em energia, deve-se lembrar de fato que o Sol é responsável pela origem de todas as fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do Sol. (CRESESB, 1999)

Em meio às tecnologias atuais, embora sejam renováveis (NETO, M. R., CARVALHO, P. C., 2012), existem pontos negativos como, por exemplo, as áreas de ocupação para implantação dos painéis solares na qual devem possuir uma localização plana e favorável para a sua implantação e eficiência na captação de energia.

O desenvolvimento de novas tecnologias, para que se tornem viáveis, acaba gerando um custo elevado dos equipamentos. Em função de novas técnicas de fabricação, os custos dos equipamentos vêm decaindo. Entretanto, as áreas para implantação dessas tecnologias, ainda é um fator decisivo tanto para usinas de grande porte quanto para as usinas de pequeno porte, (residenciais) sendo necessárias grandes áreas de ocupação para possuir uma eficiência alta na captação desta energia.

Baseado nestas premissas, o objetivo do projeto é desenvolver uma tecnologia mais compacta, reduzindo as áreas de ocupação e tornar mais eficiente para a captação desta energia de fonte renovável e inesgotável (RODRIGUES, H.H., 2016). As finalidades posteriores deste conjunto serão grandes, realizando a contribuição não somente com o meio ambiente na qual poderá ocorrer à redução na geração de resíduos na fabricação, visto que as áreas de ocupação serão bem inferiores às técnicas tradicionais, mas também a união de conhecimentos de áreas distintas contribuindo com o meio acadêmico.

Para realização da conversão de energia solar em energia elétrica, foram utilizadas células fotovoltaicas (LOPEZ, 2012) na qual possuem como base a conversão de energia térmica, obtida através da luz, em energia elétrica por meio

SILVA, 2020.

de uma aplicação de calor em um elemento que possui uma constante dielétrica característica associada com a variação da temperatura. (Richard, 1963). Neste projeto, a configuração e disposição natural do protótipo já apresentaram ganhos significativos para captação de energia solar e, portanto, foram implementados juntamente com sensores fotossensíveis na qual realizaram a automação do sistema de orientação guiada.

Para cada metro quadrado de captadores solares implantados pode-se evitar a inundação de cerca de 56 metros quadrados de terras férteis, na construção de novas usinas hidrelétricas. (FERREIRA, R. R., FILHO, P. C., 2009)

Células Fotovoltaicas

Células fotovoltaicas possuem como base a conversão de energia térmica, obtida através da luz, em energia elétrica por meio de uma aplicação de calor em um elemento que possui uma constante dielétrica característica associada com a variação da temperatura. (Richard, 1963)

Atualmente os materiais utilizados para a produção de células fotovoltaicas são os semicondutores, estes são materiais que possuem um nível de condutividade entre os extremos de um isolante e de um condutor. Dentre os semicondutores, o mais utilizado é o silício, onde seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons na camada de valência permitindo que se ligue aos demais átomos próximos, formando uma rede cristalina. (LOPEZ, 2012)

Para a fabricação do dispositivo semicondutor são necessários materiais semicondutores doadores e receptores, possuindo características intrínsecas de pureza alta e materiais extrínsecos na qual recebem uma dopagem (dopagem é adição de átomos de impurezas no material relativamente puro). Materiais do tipo N como o Silício dopado com fósforo, arsênio ou antimônio possuem átomos com cinco elétrons de ligação na banda de valência e materiais do tipo P como o Silício dopado com gálio, boro ou índio possuem átomos com três elétrons de ligação na banda de valência. Estas propriedades com características adequadas tendem a afetar o comportamento elétrico do semicondutor. (LOPEZ, 2012)

Quando aplicada uma energia térmica ou luminosa suficiente para quebrar

SILVA, 2020.

a ligação covalente dos átomos, os elétrons sobressalentes das camadas adquirem energia suficiente para saltar da banda de condução contribuindo para o aumento de tensão ou corrente do semicondutor. (LOPEZ, 2012)

As células fotovoltaicas de silício possuem três métodos de fabricação:

- Silício monocristalino: estas células possuem como característica os átomos orientados de tal maneira que formem um único cristal, sua vantagem é a alta eficiência devida ao seu elevado teor de pureza de fabricação do Si, entretanto possui um alto custo e elevado consumo de energia empregada na fabricação. As células são obtidas por corte das barras com diâmetros de 10 cm em forma de pastilhas com 300 mm de espessura. A sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é de 17% em laboratório e de 11% em escala comercial. (NETO, M. R., CARVALHO, P. C., 2012)

- Silício policristalino: estas células possuem como característica orientações e dimensões muito variadas, sua vantagem é o custo inferior na fabricação quando comparada ao Si monocristalino e possui como desvantagem uma eficiência energética um pouco menor que a do Si monocristalino NETO, M. R., CARVALHO, P. C., 2012)

- Filme Fino ou Silício amorfo: estas células possuem como características não apresentar nenhum alinhamento no arranjo da estrutura dos átomos. Possui a tendência à redução de custo, sendo atualmente o material mais estudado para a produção de células fotovoltaicas. Sua vantagem é utilizar menores quantidades de silício por unidade de potencia em comparação das células cristalinas. A desvantagem é a degradação da eficiência energética quando expostas a luz. (NETO, M. R., CARVALHO, P. C., 2012)

Árvores Solares

As árvores são uma das formas de vida mais antigas documentadas do planeta. O espécime mais antigo "*Ginkgo biloba*" possui cerca de 270 milhões de anos e é considerado um fóssil vivo. (GNAEDINGER, S., 2012)

As árvores são autossuficientes, possuindo um sistema complexo e eficaz de conversão de energia. A fotossíntese é o processo pelo qual a planta ou árvore sintetiza compostos orgânicos a partir da presença de luz, água e gás carbônico. Sua alta complexibilidade e eficácia não estão somente na atuação

SILVA, 2020.

do sistema de fotossíntese e cloroplastos, mas também a sua configuração de layout e disposição dos sistemas de absorção de luz.

O primeiro projeto de uma árvore solar foi realizado em agosto de 1979. O dispositivo constituía de um isolador muito fino, possuindo uma estrutura dipolar tal como um material dielétrico com propriedades ferroelétricas, piroelétricos e termodielétrico. As folhas captavam a energia e transformavam em energia elétrica que após essa transformação era transmitida para o sistema de armazenamento (PULVARI, 1982). Atualmente, as árvores solares são utilizadas como objetos de decoração e alguns modelos utilizados para a geração de energia elétrica. A disposição dos galhos que seguem o padrão desta captação.

As folhas possuem características únicas que permitem melhor captação e aproveitamento da energia solar para o processo de fotossíntese. Visando esta aerodinâmica natural de captação de energia pretende-se desenvolver um protótipo com formas similares à folhagem da “mimosa pudica” da família das “*fabaceae*”, arbusto perene nativo da América do sul, possuindo como característica a movimentação das folhas devido à variação de temperatura, estímulos químicos e elétricos ou privação de água (AMABIS, J. M., & MARTHO, G. R., 2004), ilustrado pela **Figura 1**:



Figura 1 - Mimosa pudica, arbusto perene da América central.

Fonte: AMABIS, J. M., & MARTHO, G. R., 2004.

Sistema de orientação de posicionamento

Sensores fotossensíveis

Sensores fotossensíveis fazem parte de um gama de diversos sensores utilizados em equipamentos eletrônicos. Podendo-se utilizar simples chaves ou

SILVA, 2020.

dispositivos de acionamento momentâneo do tipo mecânico, até transdutores especiais que convertam alguma grandeza física numa grandeza elétrica como, por exemplo, uma tensão. Esses sensores servem para informar um circuito eletrônico a respeito de um evento que ocorra externamente, sobre o qual ele deva atuar, ou a partir do qual ele deva comandar uma determinada ação. (WELDLING, 2010)

Existem diversos dispositivos que podem ser utilizados como sensores de luz a sua definição ou especificação será realizada com base nas características para cada aplicação. Para este projeto foi utilizado o sensor LDR (“*Ligth Dependent Resistor*”) da *Sunrom Technologies*, modelo #3190, conforme ilustra a **Figura 2**:

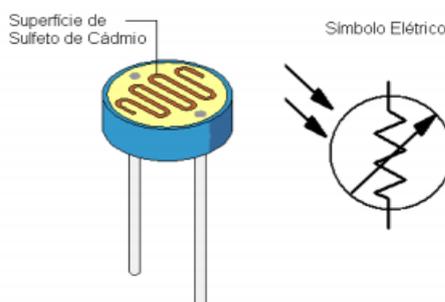


Figura 2 - Foto-resistor LDR.

Fonte: Sunrom Technologies, 2018.

A **Figura 3** apresenta a curva característica do LDR, ilustrando que conforme ocorre o aumento da intensidade luminosa captada na sua superfície ocorre à diminuição dos valores de resistência:

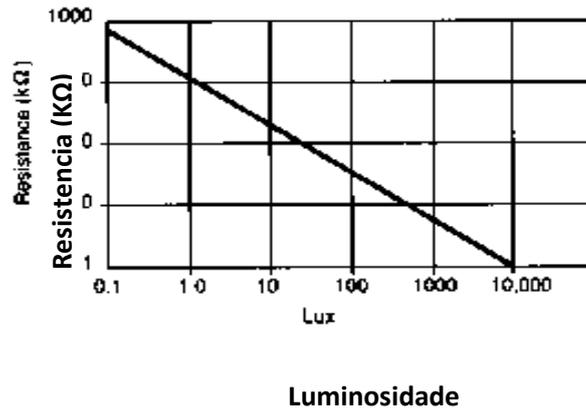


Figura 3 - Resistencia em função da Iluminação.
Fonte: Sunrom Technologies, 2018.

Uma das grandes vantagens do uso do LDR como sensores fotoelétricos está atrelada no fato de trabalharem com correntes relativamente elevadas. Portanto, o LDR apresenta grande sensibilidade nas variações de corrente o que simplifica o circuito.

A curva de resposta se aproxima da curva de resposta do olho humano, o que permite sua operação com fontes de luz natural, luz incandescente, fluorescente, eletrônica e LED comuns com os mais variados espectros e faixas conforme ilustra a **Figura 4**:

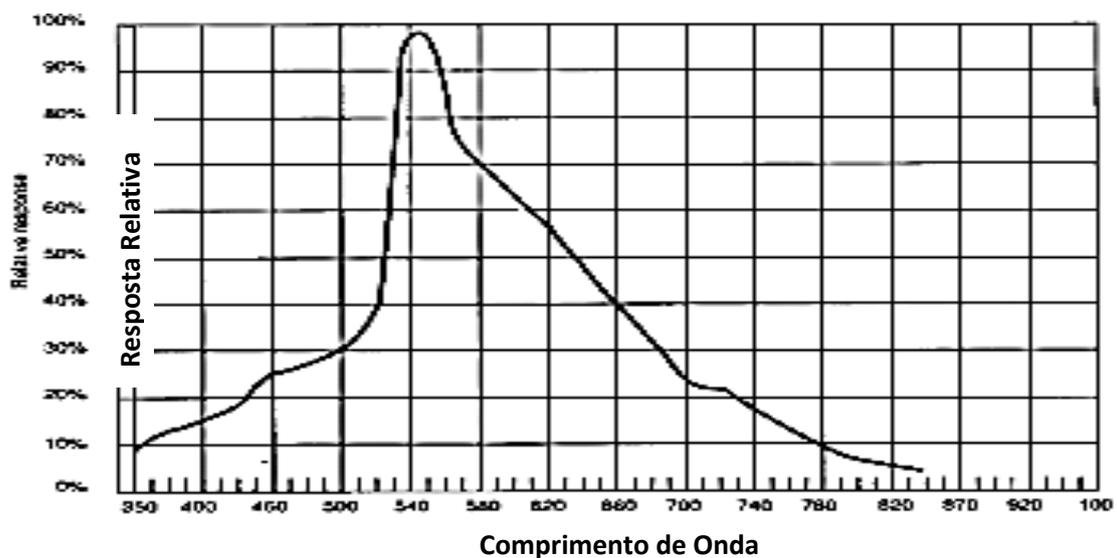


Figura 4 - Resposta Espectral.

Fonte: WELDLING, 2010.

A desvantagem está atrelada a sua velocidade de resposta, pois são lentos não podendo ser operados em velocidades maiores que algumas dezenas de quilohertz (kHz). (WELDLING, 2010)

Solar Tracking

O sistema tipo Solar “*Tracking*” procura posicionar os dispositivos solares com a superfície de captação perpendicular aos raios de Sol incidentes aumentando sua eficiência de captação. Pesquisas apresentam que sistemas de rastreamento da movimentação do Sol que operam em um único eixo (*single axis*) tendem a aumentar em cerca de 20% a produção de eletricidade. Todavia os sistemas de rastreamento que possuem dois eixos (*Double axis*) aumentam cerca de 40% a produção de eletricidade, segundo Chun-Seng: “*Nas atuais condições de desenvolvimento da tecnologia, a utilização de sistemas fotovoltaicos com rastreamento solar é uma ótima solução para aumento na eficiência e redução nos custos*”. (CHUN-SHENG, 2008)

Com o potencial destas tecnologias foi desenvolvido um sistema autônomo que possui automação e controle total do conjunto. Visando a amplificação do potencial de captação energética das folhas flexíveis, foi implementado um sistema movimentação mecânica nos eixos X, Y posicionando na melhor disposição com base nos dados coletados através dos sensores distribuídos e posicionados no equipamento. Estes sensores serão controlados através de um Microcontrolador, ATmega328P, com hardware dedicado para controle dinâmico.

PROTÓTIPO

Baseado nas características apresentadas, o dimensionamento e a construção do protótipo da árvore solar autônoma é denominado G.I.N.O® (Galho Interativo de Navegação Orientada). Este projeto é classificado, segundo a Aneel, como microgeração distribuída. (ANEEL, 2012)

SILVA, 2020.

Para a construção e viabilização das simulações, o G.I.N.O® foi desenvolvido em escala reduzida 1:10 como um protótipo constituído de um único galho e seu dimensionamento, foram considerados as aplicações finais em escala real 1:1.

A coleta de dados foi realizada somente com um único modulo de galho sendo comparado com um painel solar flexível montado na forma tradicional: em plano horizontal com posicionamento para melhor incidência solar.

Para realizar o dimensionamento empírico do sistema, foi realizado o levantamento técnico dos dados e das grandezas necessárias para o cálculo técnico do conjunto. O sistema foi dimensionado para atuar em conjunto com o fornecimento elétrico atual de uma residência de médio porte da região Sudeste do país com uma faixa de consumo energético de aproximadamente $P_c = 341$ kW/mês conforme **Tabela 1**:

Cargas na Rede	QTD.	Consumo (kW/h)	Tempo uso (h)	Ciclos (Dias)	Subtotal Consumo (kWh/Mês)	Total kW/Mês (kW/dia)
Lâmpadas Fluorescentes	5	0,12	6	30	108	341 (11,3)
Geladeira	1	0,03	24	30	19,44	
Micro-ondas	1	1,4	0,15	30	6,3	
Máquina de lavar 10 kg	1	0,8	1	8	6,4	
Chuveiro Elétrico	1	7,5	0,15	30	33,75	
Televisor LCD	1	0,22	6	30	39,6	
Console Videogame	1	0,27	2	30	16,2	
CPU Gamer alta performance	1	0,58	5	12	34,8	
Carregadores de Celular	2	0,08	2	30	9,12	
Fontes Uso Geral	2	0,25	4	30	60	

Tabela 1 – Carga total / Curva de Carga.

Fonte: próprio autor.

Para a determinação das coordenadas geográficas para a instalação dos painéis fotovoltaicos, visando melhor obtenção da captação de energia, foi utilizado o software **Google Earth** conforme ilustra a **Figura 5**:



Figura 5 – Local instalação Painéis Solares: Lat.: -23.5311 e Long.: -46.370

Fonte: próprio autor.

Para obter os dados de radiação solar desta instalação, foi realizado o levantamento através do site da **Sundata** (www.cresesb.cepel.br) que apresentou o resultado de medições de radiações solares para três localidades aproximadas conforme ilustrado na **Figura 6**:

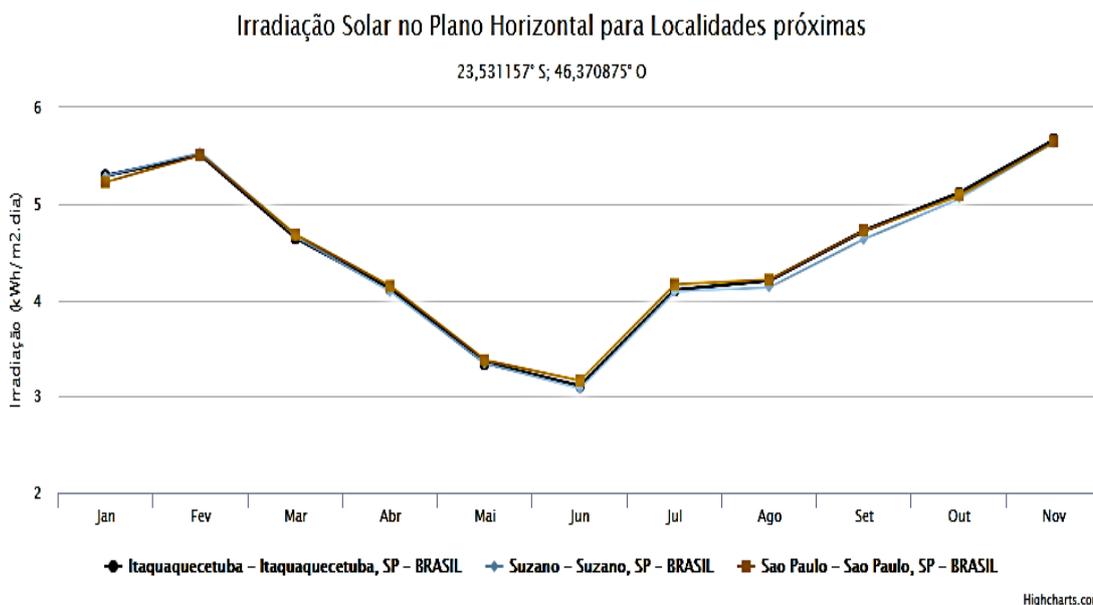


Figura 6 - Radiação diária média mensal para localidades próximas.

Fonte: Sundata, 2018.

O sistema foi dimensionado para a menor faixa média de radiação solar anual para garantir o funcionamento pleno. Nesta condição, as possíveis perdas do conjunto fotovoltaico estão inseridas.

A **Tabela 2** ilustra as distancias e localidades escolhidas e a irradiação solar diária média:

Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]			
UF		São Paulo	
País		Brasil	
Estação	Itaquaquecetuba	Suzano	São Paulo
Latitude [°]	23,5° S	23,601° S	23,5° S
Longitude [°]	46,349° O	46,349° O	46,449° O
Distância [km]	4,1	8,1	8,7
Jan	5,29	5,29	5,23
Fev.	5,5	5,53	5,51
Mar	4,64	4,66	4,68
Abr.	4,12	4,09	4,15
Mai	3,35	3,34	3,38
Jun.	3,11	3,08	3,16
Jul.	3,23	3,21	3,26
Ago.	4,11	4,09	4,16
Set	4,2	4,13	4,21
Out	4,72	4,64	4,72
Nov.	5,11	5,05	5,08
Dez	5,66	5,64	5,64
Média	4,42	4,39	4,43

Delta	2,55	2,56	2,48
--------------	------	------	------

Tabela 1 - Dados de Radiação Solar das proximidades locais.

Fonte: Sundata (www.cresesb.cepel.br).

Para o cálculo das horas de sol pleno (HSP) na localização do protótipo, foi considerada a média aritmética dos valores obtidos nas três localizações aproximadas ilustradas na **Tabela 2**, portanto:

$$HSP = \frac{3,11+3,08+3,16}{3} = \frac{3,12kWh}{m^2} \cdot dia$$

(1)

A equação **(2)** apresenta o cálculo da potência mínima do sistema instalado, sem a consideração das perdas energéticas para atender o consumo diário:

$$P_{min} = \frac{P_c}{HPS} = \frac{11,3}{3,12} = 3,62 kW$$

(2)

Onde:

P_c = Potência consumida

HPS = Horas de sol pleno

Como este sistema atuará em conjunto com o fornecimento atual de energia elétrica, o objetivo inicial do estudo era reduzir em 60% do consumo atual, portanto:

$$P_{min} = 3,62 \times 60\% = 2,17 kW$$

(3)

SILVA, 2020.

Para o dimensionamento do sistema de captação solar proposto foram consideradas as perdas do sistema segundo a ELETROBRÁS/PROCEL, 2006. O sistema apresentou redução nas perdas devido às configurações dimensionadas realizando o aumento na captação energética. A **Tabela 3** demonstra as perdas encontradas em sistemas de captação solar:

Tabela de Perdas ($N_{\text{rendimento}}$)		
Fatores de Perda	Variação	Média
Sombreamento	0,0 - 5,0%	0%
Sujidade	1,0 - 3,0%	1%
Reflexão	3,0 - 5,0%	3,00%
Variação do espectro AM 1.5	1,0 - 2,0%	1,50%
Mismatch	0,5 - 2,5%	0%
Condições Diferentes dos Padrões de Teste	4,0 - 9,0%	6,00%
Perdas c.c	0,5 - 1,5%	0,70%
Perdas na conversão de Energia	0,5 - 3,0%	1,50%
Perdas do inversor	3,0 - 7,5%	5,00%
Perdas Fiação Elétrica	0,2 - 1,5%	0,50%
	Total de perdas	19,20%

Tabela 2 - Tabela de Perdas
Fonte: ARAUJO, A. J., 2016.

Para o sistema foram adotadas as menores faixas de valores de perdas em função das seguintes condições de ganho:

- **Sujidade:** Configuração convexa do conjunto que tende a ter o menor acúmulo de sujeira no dispositivo;
- **Sombreamento e Reflexão:** Conjunto proposto conta com dispositivo tipo Solar “tracker”, na qual os coeficientes de sombreamento e reflexão por luz difusa são corrigidos instantaneamente durante operação;

SILVA, 2020.

- **Mismatch:** O fornecedor do painel já informa a potência mínima de geração.

O módulo fotovoltaico dimensionado para o sistema **G. I. N. O[®]** será o modelo **SP-31-hSX533735** do fabricante Elfaland. De acordo com as especificações elétricas, o módulo possui as seguintes características ilustradas pela **Tabela 4**:

3.2 Especificações elétricas do módulo fotovoltaico	
3.3 Potência elétrica máxima	3.4 250 W
3.5 Tensão de circuito Aberto	3.6 12 V
3.7 Corrente de máxima potência	3.8 14,2 A
3.9 Dimensões aproximadas	3.10 1570x800x2 mm
3.11 Área de cobertura	3.12 1,25m ²

Tabela 4 – Especificações elétricas do módulo fotovoltaico.

Fonte: Elfand.

A equação (4) determina número mínimo de painéis deve-se realizar o dimensionamento abaixo:

$$N = \frac{P_{min}}{P_{max\ painel} \times N_{rendimento}} = \frac{2170}{250 \cdot 0,808} = 14,65$$

(4)

Entretanto, observou-se que, utilizando 11 módulos solares, a capacidade de carga dimensionada para o conjunto que atende a redução proposta são:

$$P_{Pico} = 11 (\text{módulos}) \cdot 250W = 2,75 \text{ kW} \quad \text{(5)}$$

$$P_{real} = 3,0 \text{ kW} \cdot 0,808 (\text{Perdas}) = 2,22 \text{ kW}$$

(6)

SILVA, 2020.

O dimensionamento do inversor é realizado de acordo com as especificações de carga do sistema da qual está conectado sendo que a potência máxima deste inversor deve ser superior ou igual à potência necessária. Neste inversor também deve ser considerado a capacidade de sobre corrente, principalmente caso ocorra à necessidade da energização de motores no sistema (Ventiladores, Maquinas de Lavar, Liquidificadores etc.), pois na maioria das vezes estes motores apresentam uma corrente de partida de até sete vezes o valor da corrente nominal de carga.

Este dimensionamento é diretamente proporcional à relação da potencia nominal do sistema. De acordo com a referência (Eletrobrás/Procel, 2006) a potência do inversor deve ser:

$$0,7 \times P_{sf} < P_{inv.dc} < 1,2 \times P_{sf} \quad (7)$$

P_{sf} = Potência do sistema fotovoltaico

$P_{inv.dc}$ = Potência do inversor

Portanto: $1,55 \text{ kW} < P_{inv.dc} < 2,66 \text{ kW}$

(8)

O inversor dimensionado para o sistema **G. I. N. O[®]** será o modelo **Fronius Galvo 2.5-1** do fabricante SMA. De acordo com as especificações elétricas, o inversor possui as seguintes características ilustradas pela **Tabela 5**:

3.13 Especificações elétricas do inversor					
.14	Características	3.15	Entrada	3.16	Saída
.17	Potência elétrica máxima	.18	2650 W	3.19	2500 W
20	Tensão máxima	21	550 Vcc	.2	180 a 270Vac
23	Tensão mínima	24	165 Vcc	3.25	-

3.26	Tensão MPP	27	165 a 440 Vcc	3.28	-
3.29	Corrente máxima	3.30	16,6 A	3.31	12,1 A
3.32	Frequência	3.33	-	3.34	60 Hz
3.35	Tensão inicialização	36	185 Vcc	3.37	-

Tabela 5 – Especificações elétricas do inversor.

Fonte: SMA.

A bateria de recepção da carga controlada do sistema fotovoltaico, foi dimensionada para suportar 15 horas sem uso de energia da rede da concessionária e sem a alimentação do sistema **G. I. N. O[®]** mantendo seu nível de carga dentro da descarga mínima da bateria que seria de 20% conforme especificações do fornecedor.

A bateria escolhida para o sistema **G. I. N. O[®]** será o modelo estacionário **12MF220** do fabricante Moura, de acordo com as especificações elétricas esta bateria possui as seguintes características, ilustradas pela **Tabela 6**:

3.38 Especificações elétricas da bateria estacionária					
3.39	Tensão nominal	3.40	12 Vcc		
3.41	Capacidade a 25.°C	3.42	220 Ah		
3.43	Peso	3.44	56,2 Kg		
3.45	Tensão de flutuação	3.46	13,2 a 14,4 Vcc a 25.°C		

Tabela 6 – Especificações elétricas da bateria estacionária.

Fonte: Moura.

MODELAGEM CONCEITUAL

A **Figura 7** ilustra a vista panorâmica tridimensional do protótipo **G. I. N. O[®]** :

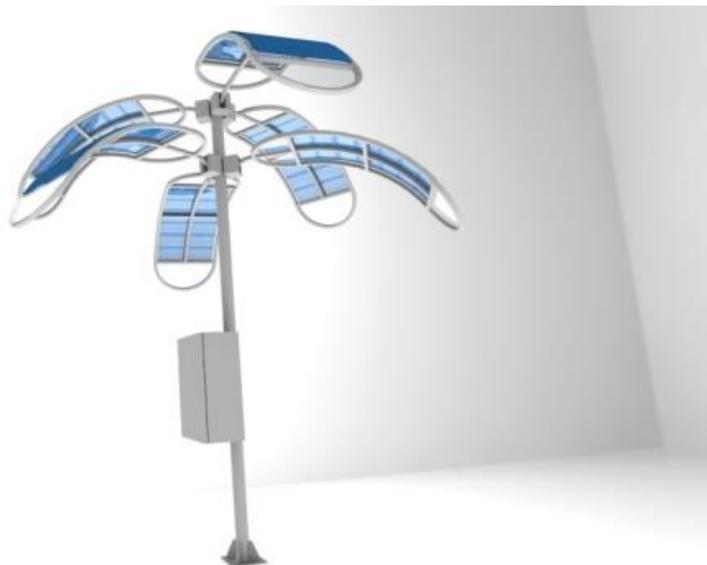


Figura 7: G. I. N. O[®] 1,5kW - Vista Panorâmica.

Fonte: próprio autor.

A **Figura 8** ilustra a vista superior tridimensional do protótipo **G. I. N. O[®]** :



Figura 8: G. I. N. O[®] 1,5KW - Vista Superior.

Fonte: próprio autor.

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO G. I. N. O[®]

O protótipo **G.I.N.O[®]** foi desenvolvido em escala 1:10, adequado tanto para a fabricação quanto para a coleta, levantamento e análise das medições de

SILVA, 2020.

máxima radiação capturada. O conjunto das folhas solares conta com sistemas individualizados de orientação solar (*solar-tracker*).

Cada conjunto é composto de três servos motores que realizam a translação do posicionamento das folhas solares em função da variação dos sensores de captação de luz solar (LDR). Estes sensores estão dispostos e posicionados nos extremos da célula solar para melhor captação da incidência solar.

O sistema de cada folha solar é constituído dos seguintes componentes: célula solar, haste de sustentação, servo motor, sensores LDR e conexões elétricas. A **Tabela 7** ilustra as especificações dos componentes utilizados com base nas especificações de construção do protótipo:

Tabela de Componentes		
Descrição	Fabricante	Modelo
Microcontrolador	Atmel	ATmega328P
Plataforma Conexão	-	Arduino Uno R3
Modulo solar	Unisolar	0,3 W
Servo Motor	TOWER PRO	MG996R
Estrutura Sustentação	Diversos	-
Conectores	Diversos	-
Sensores LDR	Nanyang Senba	GL 5528

Tabela 7 – Tabela de componentes do protótipo.

Fonte: próprio autor.

Folha Solar

O conjunto das folhas solares contam com sistema individual de orientação solar (*solar tracker*). Cada conjunto é composto de 3 (Três) servos

SILVA, 2020.

motores que realizam a translação do posicionamento das folhas solares em função do delta dos sensores de captação de luz solar (LDR). Estes sensores estão dispostos e posicionados nos extremos da célula solar para melhor captação da incidência solar.

As definições de orientação dos servos motores a serem descritos na programação do sistema autônomo foram adotados utilizando-se como base os nomes dos posicionamentos dos pontos cardeais utilizados no século XIV, referente à localização sobre a superfície do planeta Terra, das quais foram atribuídos cada servo motor e folha solar conforme sua posição, de acordo com a **Figura 9**.



Figura 9 – Pontos cardeais Século XIV.

Fonte: próprio autor.

A **Figura 10** ilustra a montagem deste sistema:



Figura 10 - Protótipo Folha Solar.

Fonte: próprio autor.

Para o controle do conjunto das folhas foi utilizado o microcontrolador Atmega328P integrado a plataforma Arduino Uno R3 para realizar a interface entre o microcontrolador e os componentes elétricos da folha solar.

O esquema elétrico do conjunto é ilustrado na **Figura 11**:

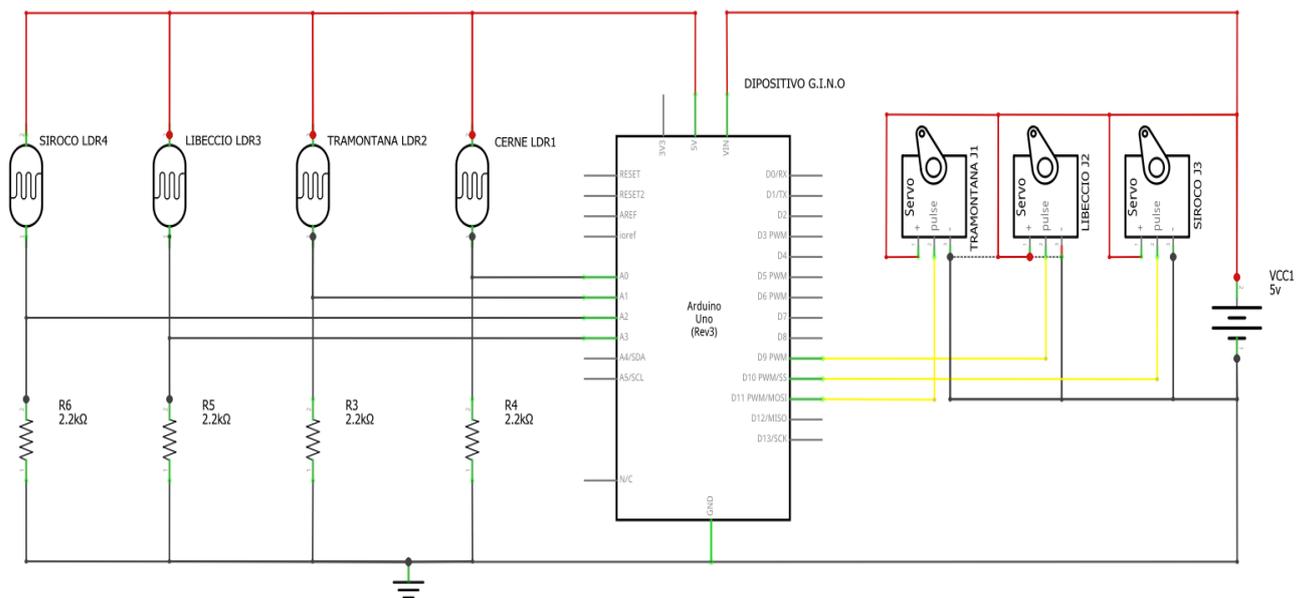


Figura 11 - Esquema Elétrico.

Fonte: próprio autor.

SILVA, 2020.

O microcontrolador recebe as faixas de tensões analógicas emitidas pelos sensores LDR dispostos nas extremidades inferiores e superiores de cada módulo. Após a coleta dos valores é realizado o cálculo de posicionamento através do algoritmo de rastreamento na qual o controlador realiza a correção da posição dos módulos em função da maior irradiação solar lida pelos sensores, ampliando sua eficiência na captação de energia solar.

SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para caracterização e verificação da eficiência, foram realizados testes funcionais com o sistema autônomo **G.I.N.O[®]** e uma célula solar montada com características tradicionais: montagem plana, direcionamento para sentido de ciclo do sol.

A **Figura 12** ilustra a instalação do sistema **G.I.N.O[®]** e da célula em montagem convencional:



Figura 12 - Protótipo e célula convencional.

Fonte: próprio autor.

Para validação dos resultados obtidos pelo **G.I.N.O[®]**, os testes foram realizados em dias distintos com situações climáticas distintas.

SILVA, 2020.

A **Figura 13** ilustra a radiação máxima capturada:

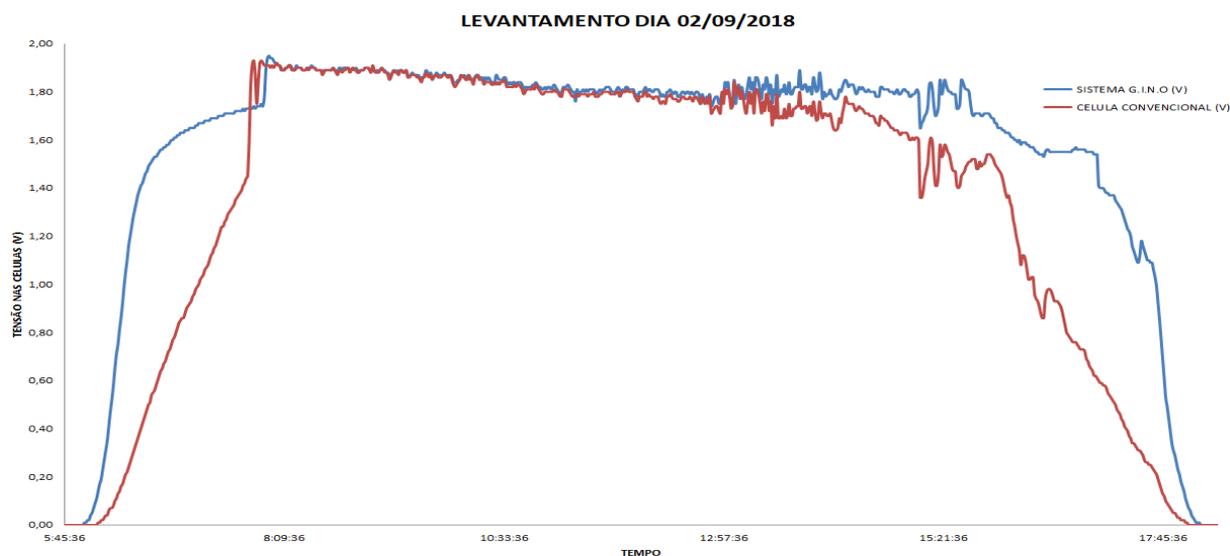


Figura 13 - Máxima radiação capturada (02/09/2018).

Fonte: próprio autor.

O sistema de captação **G. I. N. O[®]** (sistema em cor **azul**) possui uma área de cobertura maior quando comparado ao sistema de célula solar plana (sistema em cor **vermelha**), o conjunto **G. I. N. O[®]** possui maior eficiência durante os períodos de baixa luminosidade que se situa no gráfico entre 5:45 a 8:09 e 15:21 a 18:10. A **Figura 14** ilustra a radiação máxima capturada em um dia com céu fechado com nuvens e com precipitação de chuva pela manhã:

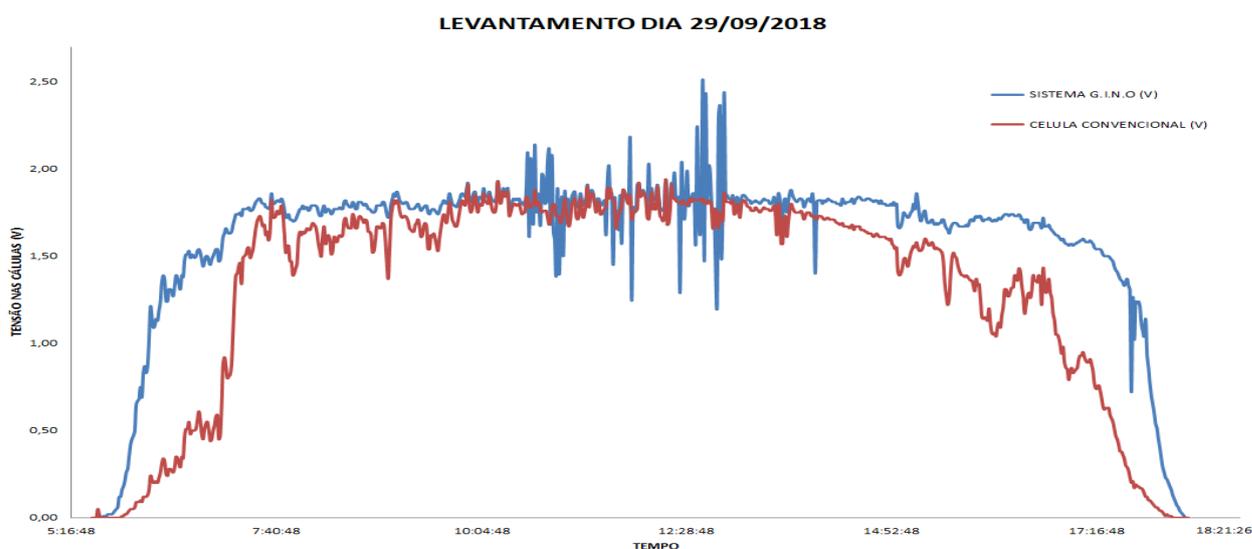


Figura 14 - Máxima radiação capturada (29/09/2018).

Fonte: próprio autor.

Durante o período de chuva observou-se a instabilidade de ambos os sistemas devido às variações de intensidade luminosa durante o dia. Todavia observa-se que o sistema de captação G.I.N.O[®] mante-se com área de cobertura maior em ambos os gráficos. Os valores obtidos para comparação na eficiência energética foram equacionados através da diferença conforme ilustram as Figuras 15 e 16:

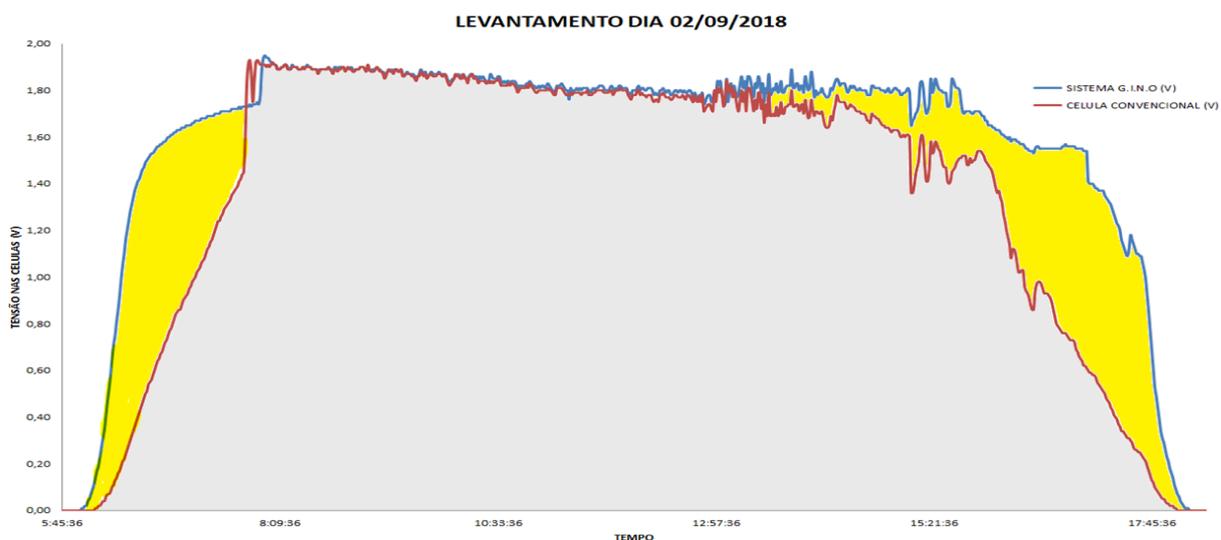


Figura 15 – Comparativo dos valores obtidos dia 02/09/2018.

Fonte: próprio autor.

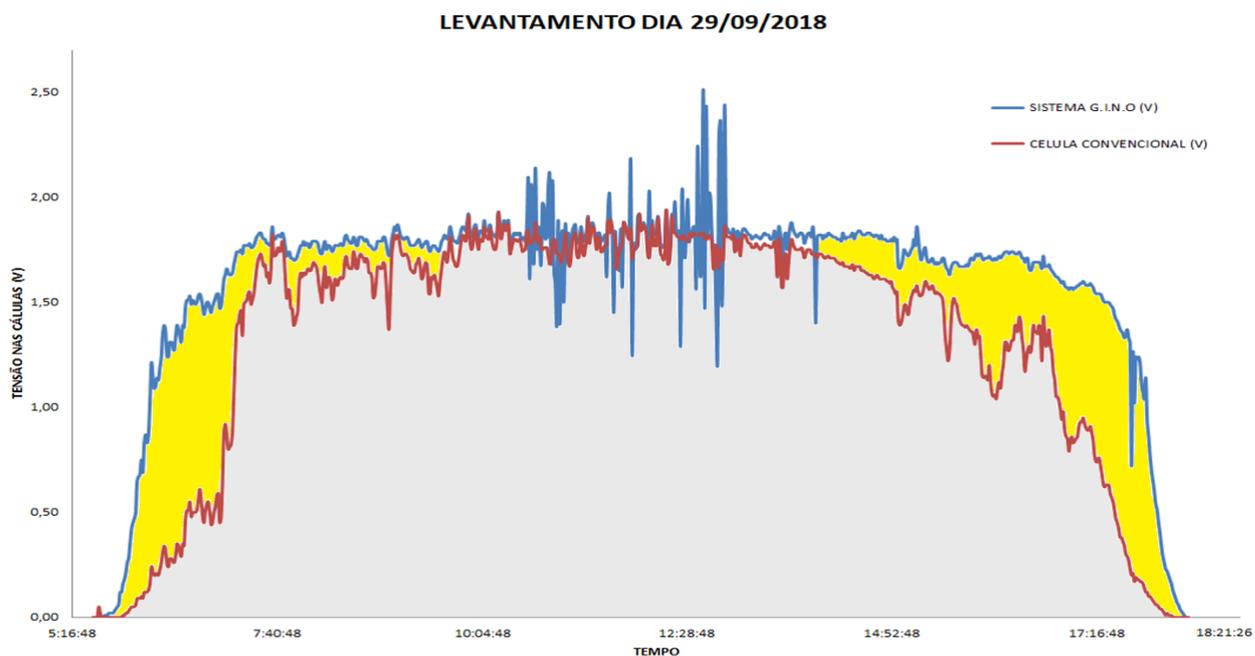


Figura 16 - Comparativo dos valores obtidos dia 29/09/2018.

Fonte: próprio autor.

Baseado nos valores obtidos durante as coletas, observou-se que o valor obtido do conjunto **G. I. N. O**[®] está em cerca de 21% acima dos valores gerados da matriz de células solares planas.

CONCLUSÃO

Este projeto apresentou um novo conceito em obtenção de energia solar unindo as tecnologias atuais de árvores solares e automação de sistemas com tecnologia "*solar-tracking*". O protótipo construído em escala reduzida apresentou ganhos significativos comparados com sistemas tradicionais de células solares, cerca de 21% de aumento na eficiência de captação energética.

Outro fator de destaque deste sistema proposto é a sua área de ocupação por m². Para a uma planta com as mesmas capacidades de fornecimento elétrico dimensionado a instalação tradicional ocuparia uma área de 15,23m² e um peso total de aproximadamente 207kg. O sistema proposto ocuparia uma área de 2m² e um peso total aproximado de 217kg. Sendo assim, o sistema proposto reduz em 86,9% a área de ocupação viabilizando sua implantação em qualquer localização.

Este sistema também pode ser instalado em operação paralela a rede elétrica ou na modalidade "Off-Grid" (locais sem acesso a energia elétrica). Devido à configuração e disposição da tecnologia das árvores solares, este sistema pode ser instalado em residências de pequeno a grande porte, indústrias, praças, parques, ruas e avenidas e até em grandes fazendas solares devido as suas características únicas na qual seu design prático e compacto possibilita e viabiliza sua implantação.

Os sistemas com células solares flexíveis possuem um alto custo de implantação em baixa escala de produção comparado a sistemas tradicionais de placas planas sendo efetivamente duas ou três vezes mais alto. No entanto, realizando a aplicação em escala industrial, as projeções tendem a redução de custo em média de 25%.

SILVA, 2020.

REFERÊNCIAS:

AMABIS, J. M., MARTHO, G. R. (2004). **Biologia, Vol. 2: Biologia dos Organismos**. Ed. Moderna.

ARAUJO, A. J.. **Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba**. Curitiba, Paraná, Brasil: Universidade tecnológica federal do Paraná, 2016.

BRASIL. ANEEL. **Resolução normativa nº 482** de 17 de Abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração de energia elétrica. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em 07 mar. 2018.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: PRC-PRODEEM, 1999.

CHUN-CHENG. **Proceedings of the 3rd International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies**. Nanjing, China, 2008.

ELETROBRÁS/PROCEL (2006). **Conservação de Energia: Eficiência Energética em Instalações e Equipamentos**. Itajubá, Minas Gerais: Editora EFEI.

FERREIRA, R. R., FILHO, P. C. **Energia Solar Fotovoltaica – Geração de energia limpa.**, 2009.

GNAEDINGER, S. **Ginkgoalean woods from the Jurassic of Argentina: Taxonomic considerations and palaeogeographical distribution**. *Geobios*, 2012. pp. 187–198.

LOPEZ, R. A. **Energia Solar**. Rio Grande do Sul: Artliber, 2012. 232p.

NETO, M. R., CARVALHO, P. C. **Geração de Energia Elétrica - Fundamentos**. Ed. Erica. (2012).

PULVARI, C. F. (1982). *Patente Nº 4365106 A*. Estados Unidos.

SILVA, 2020.

RICHARD, H. S. (1963). **Energy converter**. Depositante: Hoh Siegfried Richard. US3073974. Depósito: 17 Jun. 1959. Concessão: 15 Jan. 1963.

RODRIGUES, H. H. **Automação de Amplificação do Potencial Energético de Árvores Solares**. Conic Semesp - 16º Congresso Nacional de Iniciação Científica, (p. 3). São Paulo. (2016). Disponível em: <http://conic-semesp.org.br/anais/files/2016/trabalho-1000021899.pdf>. Acesso em 07 mar. 2018.

WELDLING, M. **Sensores. Unesp Campus Garatinguetá, São Paulo (2010)**. Disponível em: <http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>. Acesso em 06 de Out. 2018.