

AUMENTO DE EFICIÊNCIA NA CAPTAÇÃO ENERGÉTICA DE ÁRVORES SOLARES

Increase efficiency in the energy caption of solar trees

Helvio Henrique Rodrigues
Faculdades Metropolitanas Unidas | São Paulo, SP
helviohenriquerodrigues@hotmail.com

Rogério Spagnolo
Faculdades Metropolitanas Unidas | São Paulo, SP
rogerio.spagnolo@fmu.br

Genaro Mariniello
Faculdades Metropolitanas Unidas | São Paulo, SP
genaro.silva@fmu.br

João Batista Junior
Faculdades Metropolitanas Unidas | São Paulo, SP
joao.junior@fmu.br

RESUMO

Atualmente, a crise energética tornou-se um dos motivadores da pesquisa tecnológica na área de energias renováveis visando a melhoria contínua da captação de energia através do uso de ferramentas e técnicas mais eficientes. A tecnologia apresentada é um modelo híbrido de captação de energia solar de alta eficiência através do uso de células solares flexíveis ligadas a um rastreador de sistema solar autônomo (sistema de posicionamento e orientação para melhor disposição e captação de incidência solar). Este projeto pretende usar em conjunto com a tecnologia de árvore solar, que em suas configurações básicas têm maior eficiência do que os modelos tradicionais à sua disposição com os painéis solares planos. 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: Árvores Solares, Automação de alta eficiência; Captação de energia solar; Energia renovável.

ABSTRACT

Nowadays, the energy crisis has become one of the motivators of technological research in the area of renewable energy and has the continuous improvement of energy capture through the use of more efficient tools and techniques. The technology presented is a hybrid model of capturing high-efficiency solar energy through the use of flexible solar cells attached to a solar system tracker autonomous (positioning system and guidance for better Disposition and capture of solar incidence). This project intends to use in union with solar tree technology, for its basic configurations has greater efficiency than the traditional models at its disposal with flat solar panels. The academic research presented in this project seeks knowledge in the areas of study of sensory automation, flexible solar cells, application of layout and natural convexity of the sheets, assembly and elaboration of devices, sizing, theoretical design and practical application.

Keywords: Solar tree; High Efficiency Automation; Solar Energy Capture; Renewable energy;

1 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, 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. (NETO, M. R., CARVALHO, P. C., 2012).

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.

RODRIGUES, H. H.; SPAGNOLO, R.; SILVA, G. M.; BATISTA JUNIOR, J. Aumento de eficiência na captação energética de árvores solares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. **Anais[...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/181

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 projeto são maiores, 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, R. A., 2012) na qual 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, H. S., 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 de orientação guiada.

2 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), que pode ser classificado, segundo a Aneel, como Micro geração Distribuída. (ANEEL, 2012).

Para a construção e viabilização das simulações, o **G.I.N.O®** foi dimensionado em escala real 1:1 e a construção do protótipo fora feita em escala de redução 1:10 para viabilização dos testes de campo, Os levantamentos de dados foram realizados em um único galho sendo comparado com uma placa horizontal tradicional.

Para realizar o dimensionamento empírico, foi realizado o levantamento técnico dos dados e das grandezas necessárias para o cálculo técnico do conjunto. O conjunto 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 335 KW/mês conforme **Tabela 1**:

Tabela 1: Levantamento Dados Consumo mensal residencial

MÊS DA AMOSTRAGEM	LEITURA REALIZADA (KW/MÊS)
Abril	344
Maio	289
Junho	317
Julho	358
Agosto	327
Setembro	360
Total	1995
∑ Média	332,5

Fonte: RODRIGUES, H. H., 2018.

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** (**Figura 1**).

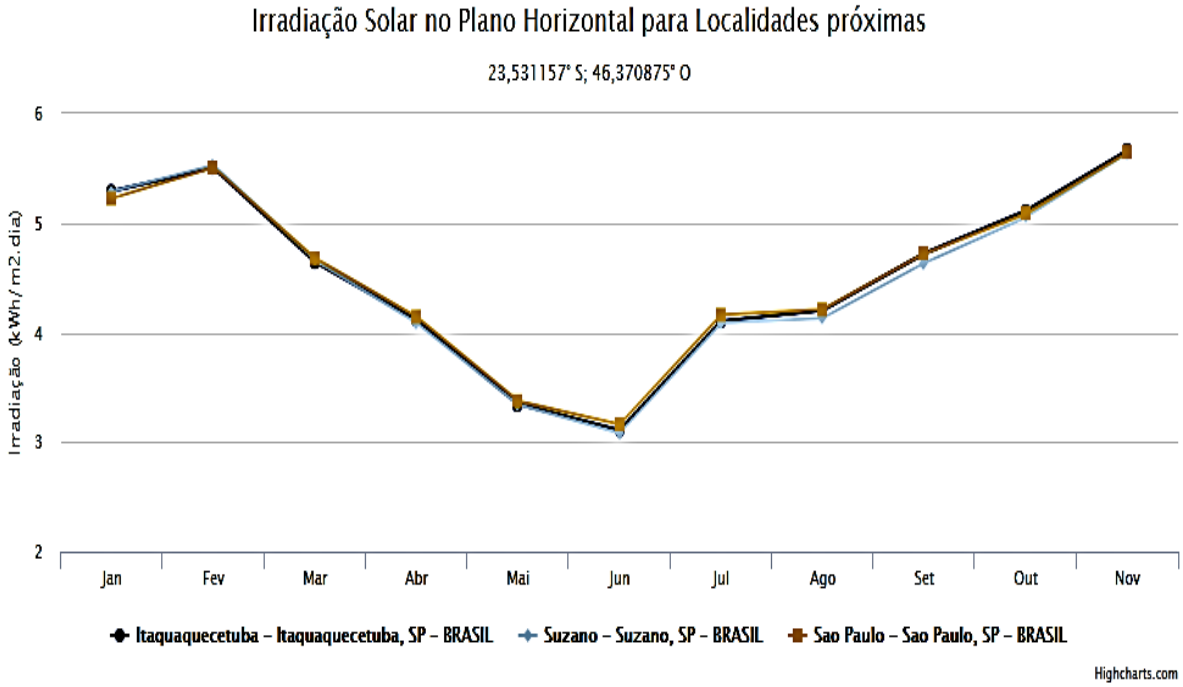
Figura 1: Local instalação Painéis Solares Lat.: -23.5311 e Long.: -46.370



Fonte: RODRIGUES, H. H., 2018.

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 localizações aproximadas conforme ilustrado na **Figura 2**:

Figura 2: Radiação diária média mensal para localidades próximas



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

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:

Tabela 2: Dados de Radiação Solar das proximidades locais

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

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:

$$HSP = \frac{3{,}11+3{,}08+3{,}16}{3} = \frac{3{,}12Kwh}{m^2}.dia \quad \textbf{(1)}$$

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

$$P_{\min_inst} = P_{hps} = \frac{11{,}3}{3{,}12} = 3{,}62KW \quad \textbf{(2)}$$

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

$$P_{min} = 3{,}62.0{,}60 = 2{,}17KW \quad \textbf{(3)}$$

Para o dimensionamento real é necessário considerar as perdas naturais apresentadas na **Tabela 3**.

Tabela 3: Tabela de Perdas

Tabela de Perdas ($N_{rendimento}$)		
Fatores de Perda	Variação	Media
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%
	Totais perdas	**19,20%**

Fonte: ARAUJO, A. J., 2016.

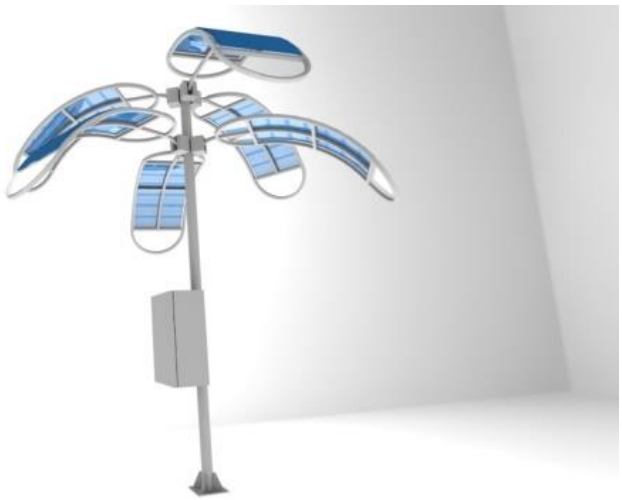
Para estabelecer a configuração do protótipo, foram adotadas as menores faixas de valores para as seguintes perdas:

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

2.1 Protótipo

A **Figura 3** ilustra a vista panorâmica tridimensional do protótipo **G. I. N. O®** :

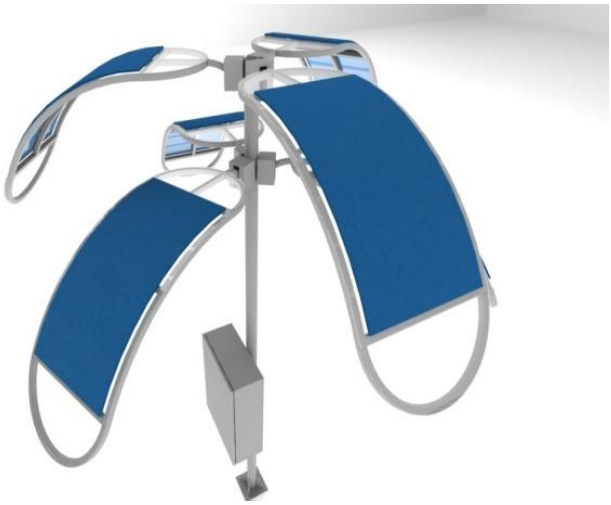
Figura 3: **G. I. N. O®** 1,5KW - Vista Panorâmica



Fonte: RODRIGUES, H. H., 2018.

A **Figura 4** ilustra a vista superior tridimensional do protótipo **G. I. N. O®** :

Figura 4: G. I. N. O® 1,5KW - Vista Superior



Fonte: RODRIGUES, H. H., 2018

3 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 máxima radiação capturada. O conjunto das folhas solares contam 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. Cada módulo de folha solar é constituído dos seguintes componentes: célula solar, haste de sustentação, servo motor, sensores LDR e conexões elétricas. As folhas foram dispostas seguindo uma angulação de 120° para aumento área de captação de energia.

A **Figura 5** ilustra a montagem final do protótipo em escala reduzida:

Figura 5: Protótipo em escala reduzida nos testes funcionais

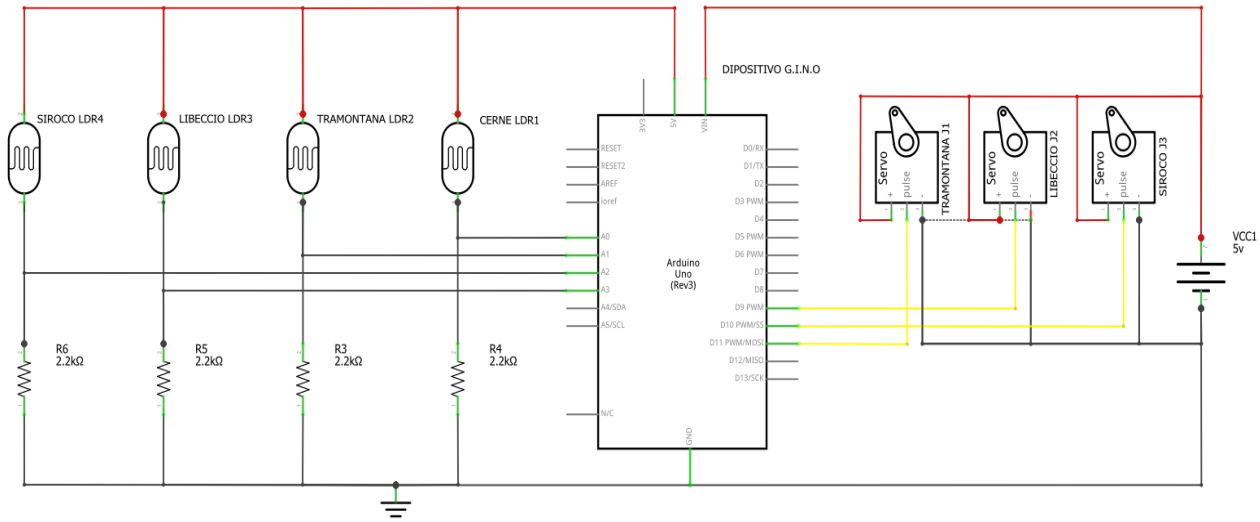


Fonte: RODRIGUES, H. H., 2018.

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 esta disposto na **Figura 6**:

Figura 6: Esquema Elétrico



Fonte: RODRIGUES, H. H., 2018.

Cada conjunto de folha opera de modo individual que são atuados através da programação e cálculos aritméticos obtidos dos dados de comparação entre os sensores LDR dispostos nas extremidades inferior e superior de cada modulo. Sendo atuada pelo servo-motor modulado via software o sistema possui a função de realizar o posicionamento dos módulos das folhas na posição com maior radiação solar ampliando sua captação de energia.

4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para caracterização e verificação dos ganhos na eficiência energética, foram realizados testes funcionais com o protótipo **G.I.N.O®** e uma célula solar montada com características tradicionais: montagem plana, direcionamento para sentido de ciclo do sol.

A **Figura 7** ilustra a instalação de testes do protótipo **G.I.N.O®** e da célula em montagem convencional:

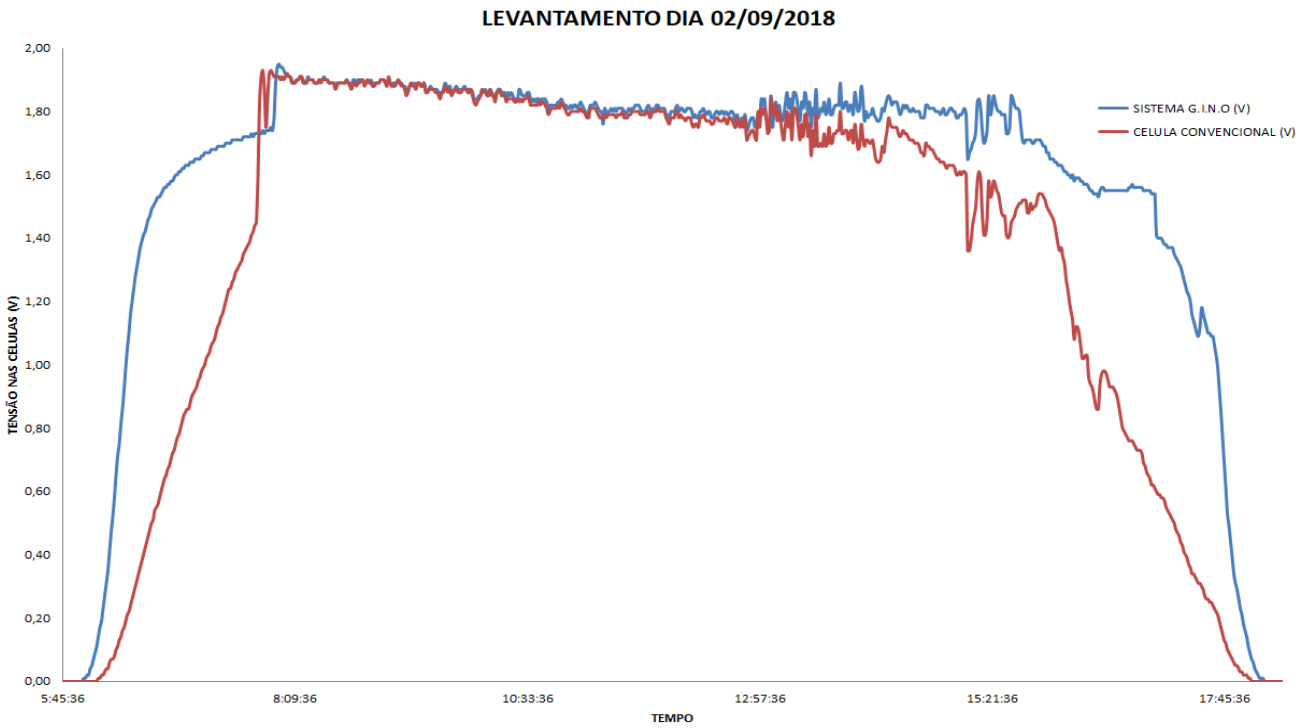
Figura 7: Protótipo **G.I.N.O®** e célula convencional.



Fonte: RODRIGUES, H. H., 2018.

Para validação dos resultados obtidos pelo **G.I.N.O®**, os testes foram realizados em dias distintos com situações climáticas distintas. A **Figura 8** ilustra a radiação máxima obtida através dos dados coletados em testes de campo:

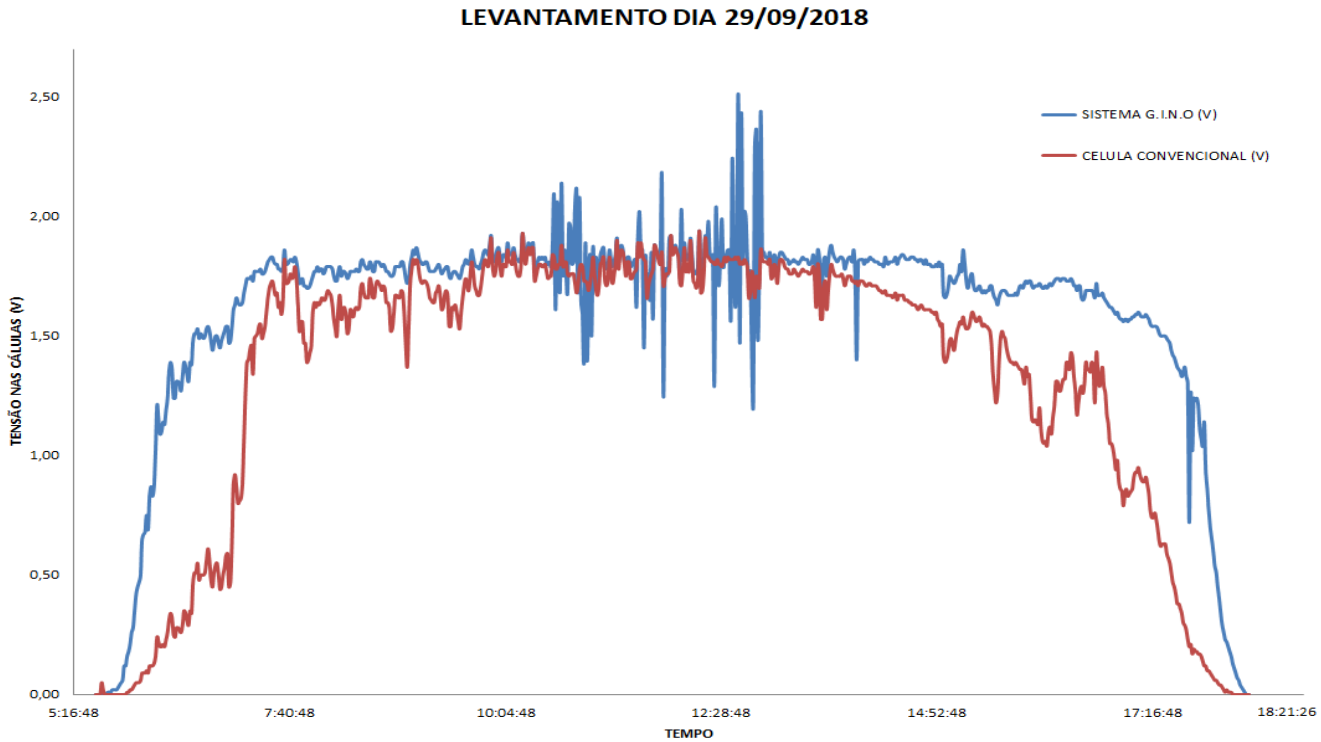
Figura 8: Máxima radiação capturada (02/09/2018).



Fonte: RODRIGUES, H. H., 2018.

A **Figura 9** ilustra a radiação máxima capturada em outra circunstância climática:

Figura 9: Máxima radiação capturada (29/09/2018).



Fonte: RODRIGUES, H. H., 2018.

5 CONCLUSÃO

Este projeto apresentou uma nova tecnologia que possui o foco o aumento na capitação de energia solar unindo as tecnologias atuais de árvores solares e automação de sistemas através da tecnologia "*solar-tracking*". O protótipo construído em escala reduzida apresentou ganhos significativos quando comparados com os módulos tradicionais de células solares planas, possuindo cerca de 21% de aumento na eficiência de captação energética através da analise das regiões de maior cobertura do protótipo G.I.N.O® verificados nos gráficos apresentados nas **Figuras 8** e **9**.

Outro fator de destaque do dispositivo 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, estes dados para comparação foram obtidos de orçamentos realizados com fornecedores de painel solares planos (NEO SOLAR, 2018). O protótipo proposto em escala real 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.

O protótipo G.I.N.O® 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 o protótipo 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.

Conforme levantamento de custos para fabricação os módulos com células solares flexíveis possuem um alto custo de implantação em baixa escala de produção quando comparados aos módulos planos comercializados na atualidade sendo efetivamente duas vezes e meia mais caro. No entanto, realizando a aplicação de fabricação em escala industrial, as projeções analisadas empiricamente tendem a redução de custo em média de 25%.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos familiares que foram à fonte de inspiração a este trabalho e que possibilitaram a criação do mesmo, aos meus orientadores que possibilitaram de forma técnica e precisa o aprimoramento e a concepção do mesmo. Em dedicatória principal realizo ao meu amado avô Egi**no Moraes que descanse em paz.**

REFERÊNCIAS:

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).

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).

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 Arvores Solares**. Conic Semesp - 16° 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.

NEO SOLAR. **Simulador Solar - Calculadora Solar Fotovoltaica**. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica. Acesso em 07 mar. 2018.