

RASTREADOR SOLAR IMPRESSO: UM PROJETO OPEN SOURCE

Guilherme Amaral do Prado Campos (CEFET-RJ) - gcampos.cefet@gmail.com

João Pedro Garcia da Silva (CEFET/RJ) - joaogarciaeca@gmail.com

Resumo:

Atualmente, o Brasil dispõe de um mapa de irradiação solar consistente, que auxilia na estimativa de geração de energia em determinadas regiões. Contudo, algumas soluções podem melhorar essa geração, como por exemplo, o uso de rastreadores solares. Esses dispositivos possuem características variadas, com relação aos números de eixos (um ou dois) e ao sistema de movimentação (passivos ou ativos). O presente trabalho desenvolveu um sistema de rastreamento com dois eixos ativos e a estrutura feita a partir de impressão 3D. Além disso, o modelo utiliza elementos de fixação e componentes comerciais, eletrônica de baixo custo e módulo fotovoltaicos (FV) de 1 W. O protótipo foi construído e testado, sendo utilizado um controle baseado no posicionamento do Sol. Os resultados foram satisfatórios, visto que o dispositivo obteve erro máximo de 1 grau. Dito isto, o presente trabalho visa disponibilizar o projeto completo na rede (projeto open source), numa plataforma para acesso de todos.

Palavras-chave: *Rastreador Solar, Impressão 3D, Energia Solar*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Concentração e rastreamento para conversão fotovoltaica*

RASTREADOR SOLAR IMPRESSO: UM PROJETO OPEN SOURCE

Guilherme Amaral do Prado Campos – gcampos.cefet@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Departamento de Engenharia Mecânica

João Pedro Garcia da Silva – joaogarciaeca@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Departamento de Engenharia de Controle e Automação

Resumo. Atualmente, o Brasil dispõe de um mapa de irradiação solar consistente, que auxilia na estimativa de geração de energia em determinadas regiões. Contudo, algumas soluções podem melhorar essa geração, como por exemplo, o uso de rastreadores solares. Esses dispositivos possuem características variadas, com relação aos números de eixos (um ou dois) e ao sistema de movimentação (passivos ou ativos). O presente trabalho desenvolveu um sistema de rastreamento com dois eixos ativos e a estrutura feita a partir de impressão 3D. Além disso, o modelo utiliza elementos de fixação e componentes comerciais, eletrônica de baixo custo e módulo fotovoltaicos (FV) de 1 W. O protótipo foi construído e testado, sendo utilizado um controle baseado no posicionamento do Sol. Os resultados foram satisfatórios, visto que o dispositivo obteve erro máximo de 1 grau. Dito isto, o presente trabalho visa disponibilizar o projeto completo na rede (projeto open source), numa plataforma para acesso de todos.

Palavras-chave: Rastreador Solar, Impressão 3D, Energia Solar

1. INTRODUÇÃO

A energia solar vem crescendo de forma significativa no Brasil. Até novembro de 2019, o total de potência instalada em residências (micro e minigeração distribuída) foi 1.493,5 MW e 2.269,3 MW em usinas solares (ou geração centralizada), totalizando uma geração de energia de aproximadamente 3.762,8 MW (Absolar, 2019). É importante salientar que mais de 95% dos sistemas instalados são fixos e não permitem acompanhar o movimento do Sol.

A escolha por sistemas fixos ou móveis está relacionado com facilidade de montagem, custo de equipamento, custo de manutenção, conhecimento técnico e ganho energético. Segundo Dizon *et al.* (2018), os sistemas móveis (ou rastreadores solares) podem aumentar a eficiência do sistema entre 12% e 43,9%. Já Hafez *et al.* (2018) apresentaram em seus estudos que em 76,42% dos casos, os modelos de rastreadores escolhidos foram os ativos. Contudo, é preciso avaliar cada local para verificar se tecnicamente haverá ou não ganho energético significativo. Isso devido a influência de fatores, como: radiação solar, latitude, temperatura e nível de nebulosidade ao longo do ano.

Dentro desse contexto, é preciso compreender o comportamento da radiação solar ao longo do dia e ano. Ela irá variar, em virtude do movimento da Terra em relação ao Sol. A Terra gira em torno do seu próprio eixo imaginário, no período de 24 horas, e translada/rotaciona em torno do Sol, no período de 365 dias (Pinho e Galdino, 2014). Esse deslocamento impacta diretamente no ângulo de incidência dos raios solares sobre as superfícies coletoras, variando assim a geração de energia ao longo do dia.

As superfícies coletoras, como por exemplo os módulos fotovoltaicos, possuem eficiências entre 12,3% e 47,1% (NREL, 2019). Atualmente, os módulos fotovoltaicos mais fornecidos possuem células policristalina com eficiência em torno de 22,8% (NREL, 2019). Outras questões, inerentes as células, podem reduzir a eficiência de um módulo fotovoltaico, como por exemplo: sujeira, temperatura, curtos circuitos, posicionamento e fixação.

Dentro desse contexto, o posicionamento e fixação dos módulos são questões que podem gerar grande influência quando mal projetados. Se um módulo fotovoltaico for instalado, no CEFET campus NI, com ângulo de inclinação (“tilt”) igual a 90°, a geração pode cair até 44% (Piombini *et al.*, 2018). Dessa forma, antes de iniciar a instalação é importante verificar a inclinação ideal. Quando são utilizados rastreadores solares, esse problema é mitigado pois ele irá se posicionar no ponto com maior radiação solar.

O presente trabalho desenvolveu um sistema de rastreamento com dois eixos ativos, e uma estrutura fabricada através do processo de impressão 3D. O dispositivo proposto pretende facilitar o acesso aos rastreadores solares, e assim, ampliar o conhecimento técnico e reduzir o tempo de manutenção.

2. ESTADO DA TÉCNICA

O conhecimento sobre o movimento do Sol, acoplado com dispositivos mecatrônicos, permitiu avançar no desenvolvimento dos rastreadores solares. A proposta é fazer uma breve revisão sobre a evolução desses dispositivos. Além disso, nessa seção também será discutida a técnica de fabricação aditiva (ou impressão 3D) que será aplicada no dispositivo proposto.

2.1 Evolução e principais tipos de rastreadores

O primeiro rastreador solar era mecânico e possuía eficiência próxima de sistemas fixos (Dizon *et al.*, 2018). Ele foi desenvolvido por Finster, em 1962. Com o objetivo de aprimorar os rastreadores, Badescu (1998) estudou a influência dos parâmetros astronômicos e construtivos de radiação solar nos sistemas de rastreamento com módulos fotovoltaicos. O primeiro sistema comercial de rastreamento solar foi desenvolvido por Dorian e Nelson (1980), isso devido a uma patente, que levou em consideração as chaves de fins de curso para as posições Leste-Oeste.

A evolução dos rastreadores está baseada nos diferentes tipos algoritmos e estratégias de controle, todos com o mesmo objetivo de encontrar a maior quantidade de radiação solar direta. Além disso, formas de reduzir o consumo energético dos rastreadores para aumentar a eficiência do sistema como propôs Lazaroiu *et al.* (2015). Outro fator importante na estratégia de aumento de eficiência é determinar qual tipo de rastreador pretende-se desenvolver. Assim, para compreender melhor essa evolução é importante compreender a diferença entre um rastreador solar passivo e ativo.

Rastreador solar passivo. Um dispositivo passivo é um sistema que não possui controle de posicionamento e não consome energia elétrica para se movimentar. Dessa forma, ele possui mecanismo baseados em recursos presentes no ambiente, como por exemplo, energia térmica. Alguns rastreadores passivos são baseados na expansão de gases ou em elementos com memória de forma como discutido por Mousazadeh *et al.* (2009).

Rastreador solar ativo. Um dispositivo ativo é um sistema composto por atuadores com controle eletrônico para ajustá-lo automaticamente ou manualmente, no caso do rastreador solar, os atuadores possibilitam a mudança desejada de ângulos para determinadas situações ao longo do dia. Para isso, os atuadores em conjunto com sensores corrigem a posição do módulo FV, e assim, obtém a posição com maior radiação solar, sendo o módulo FV sempre posicionado para que os raios fiquem perpendicular à sua superfície.

Ambos os rastreadores, passivo e ativo, possuem vantagens e desvantagens, cabe ao projetista avaliar qual será o modelo ideal para o local de aplicação do dispositivo em questão.

2.2 Impressão 3D

A fabricação aditiva, também chamada de impressão 3D, vem crescendo e despertando o interesse por parte de diversos setores industriais, assim como o setor acadêmico. Na indústria, a impressão 3D, é aplicada para o desenvolvimento de protótipos e também para algumas partes de seus produtos finais. O setor de aviação vem aplicando esse processo de fabricação, e com isso, tem obtido redução custo e tempo de fabricação (Ford, 2014; Sarat *et al.*, 2019). Já o setor acadêmico vem aplicando tal conhecimento no desenvolvimento de protótipos conceituais e funcionais, que em parceria com a indústria poderá obter melhores resultados em suas pesquisas.

O processo de fabricação aditiva é definido como a união de materiais para criação de peças a partir de modelo 3D. Assim, ao contrário do processo de usinagem tradicional (torneamento ou fresamento) que retiram material, a impressão 3D constrói a peça, camada por camada, usando pós, líquido ou filamento, no caso de polímero (Tranchard e Rojas, 2015; Dizon *et al.*, 2018). Para um melhor entendimento, na Fig. 1 é apresentado a sequência para a fabricação de uma peça.



Figura 1 – Fluxograma do processo de fabricação aditiva.

Dentro do contexto de inovação na parte de fabricação, a proposta desse projeto é utilizar essa ferramenta para desenvolver um modelo de rastreador de baixo custo e acessível a todos. Algumas peças que exigiriam dias de fabricação nos processos convencionais, foram feitas em horas.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Ao estudar os modelos de rastreadores solares, foi verificado que alguns modelos possuem configurações de difícil replicação, devido ao seu custo ou complexidade técnica. A proposta do presente trabalho é desenvolver um modelo de rastreador solar que possa ser impresso por qualquer pessoa. Além disso, a eletrônica é baseada em Arduino, que está consolidada no meio acadêmico e possui uma biblioteca de códigos de acessíveis.

Na Fig. 2 são apresentados o modelo de rastreador proposto e suas dimensões. Já na Fig. 3 é apresentado o protótipo montado. Nas próximas seções serão discutidas as partes mecânica, eletrônica e o controle.

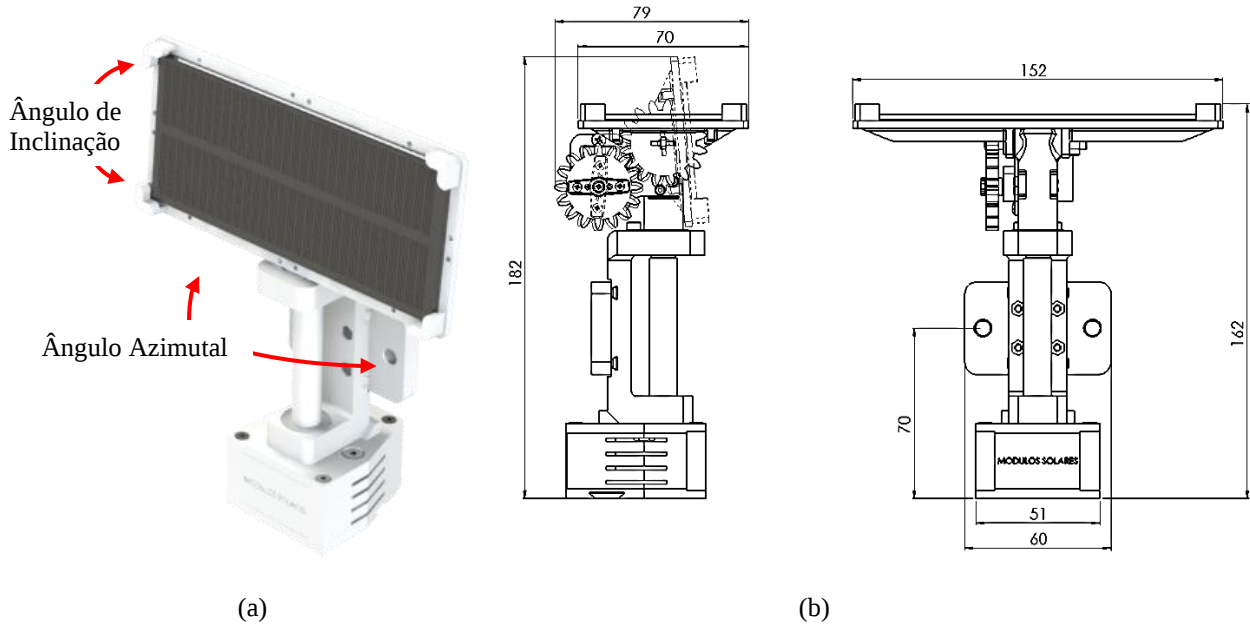


Figura 2 – Rastreador solar proposto, sendo (a) modelo 3D e (b) desenho 2D com as dimensões em mm.

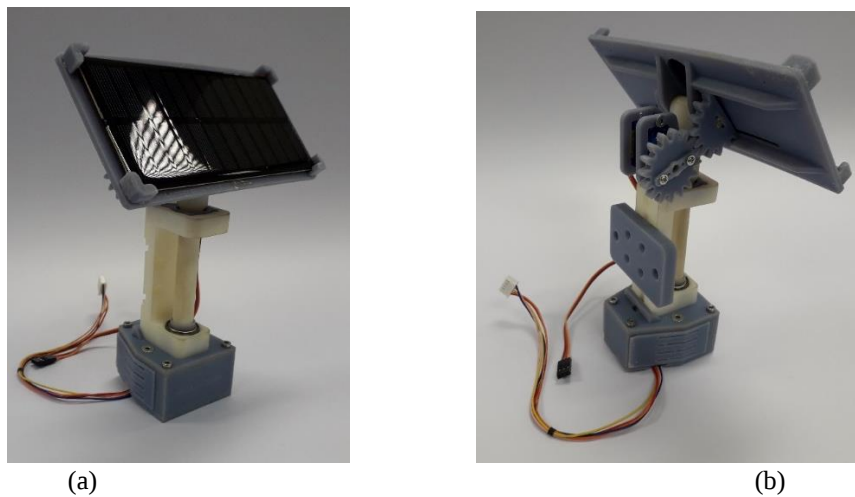


Figura 3 - Foto do protótipo (a) vista frontal e (b) vista traseira.

3.1 Parte mecânica

A estrutura proposta é compacta e permite que o dispositivo seja apoiado sobre uma superfície na horizontal ou fixado na vertical através de um adaptado. O eixo principal que permite a rotação azimutal possui um entalhe para o encaixe direto do motor de passo (modelo 28BYJ-48). Para a movimentação no ângulo de inclinação foi utilizado um

micro servo fixado no eixo de rotação azimuthal. Dessa forma, o rastreador pode se movimentar simultaneamente em ambos os ângulos.

A transmissão do micro servo é feita por um par de engrenagens, sendo uma engrenagem fixada no micro servo e a outra no eixo secundário. Na Fig. 4 são apresentados os itens da transmissão.

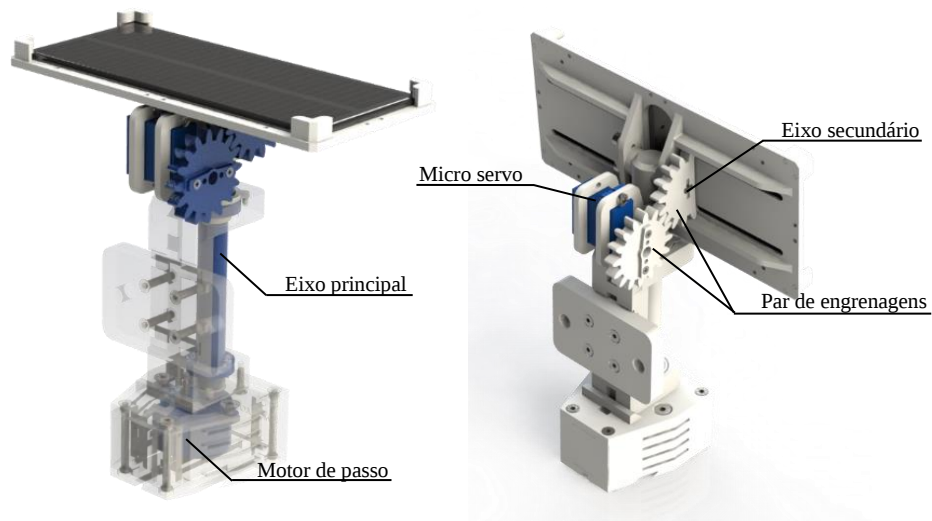


Figura 4 - Sistema de transmissão do rastreador.

Na Fig. 5a é apresentada uma vista explodida do rastreador completo, com suas 67 peças. Desses componentes, 44 peças são comerciais (por exemplo, motores, parafusos e porcas) e 23 peças foram fabricadas em uma impressora 3D. Na Fig. 5b são apresentadas as peças para impressão.

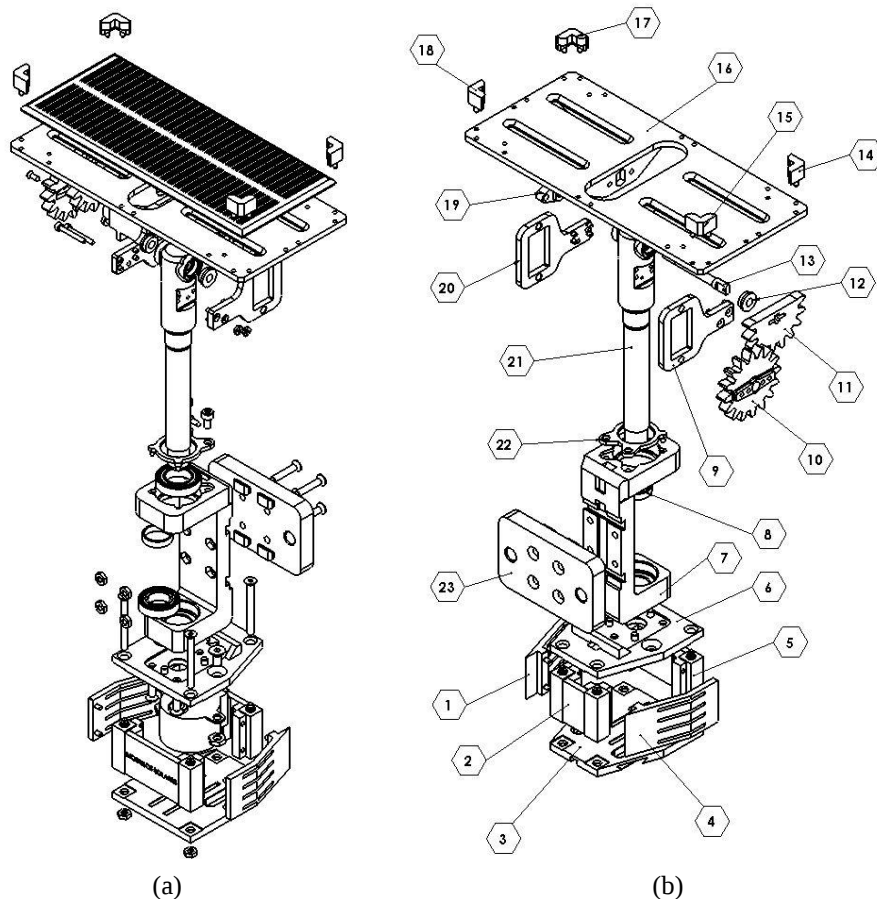


Figura 5 – Vista explodida do rastreador proposto, sendo (a) todas as peças e (b) as peças para impressão.

3.2 Parte eletrônica

A parte eletrônica do rastreador proposto tem como base o microcontrolador Arduino Mega 2560 e é formado por: sistema de movimentação e aquisição de dados. Os sistemas de movimentação são compostos por diferentes modelos de motores, em virtude da necessidade de cada parte. Para o giro na angulação azimutal foi utilizado um motor de passo, modelo 28BYJ-48, em conjunto com um drive, modelo ULN2003. O Arduino envia o comando para o drive, que por sua vez, envia um comando para o motor girar ou parar no sentido horário ou anti-horário, definido pelo controle.

No caso da rotação para a inclinação, o motor é um micro servo, modelo 9g SG90, e não necessitou a utilização de um drive, os comandos são feitos diretos pelo microcontrolador.

O sistema de aquisição de dados proposto possui um sensor capaz de medir tensão e corrente, o INA219. Contudo, durante testes esse apresentou problemas na aquisição da tensão, e por isso, optou-se por utilizar também o ACS712 para medir a tensão. Na Fig. 6 é apresentado o esquema da eletrônica proposta.

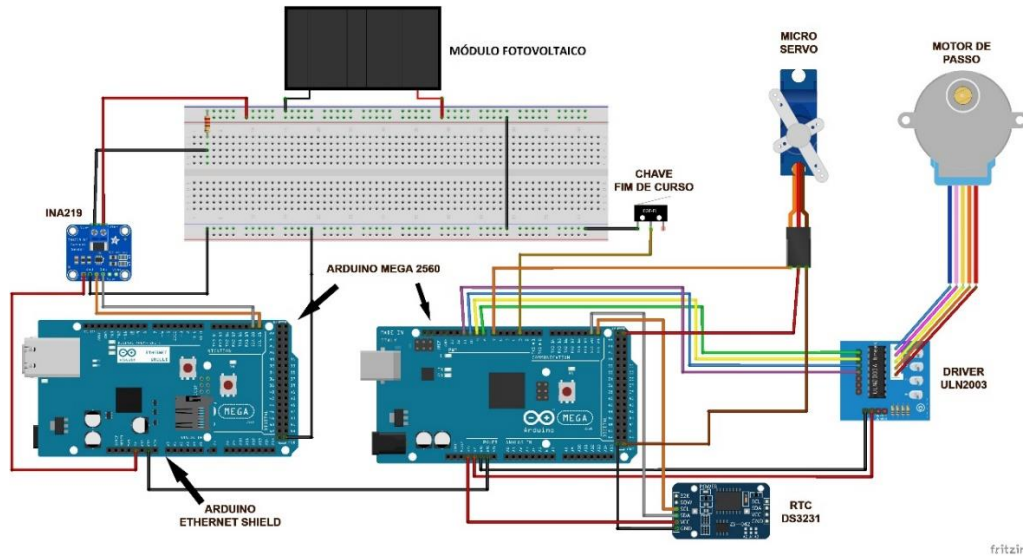


Figura 6 – Esquema da eletrônica proposta para atuadores e aquisição de dados.

3.3 Controle proposto

Segundo Grena (2008), os algoritmos existentes para cálculo da posição solar podem ser classificados de duas formas diferentes: pelo dia do ano e outro pela hora exata. O primeiro algoritmo possui equações simples, tendo apenas o dia do ano como entrada. O segundo algoritmo, forma um grupo de algoritmos mais complexos, levando em consideração a hora exata da observação e a localização, ou seja, latitude e longitude do local. A rotina utilizada no projeto para obter-se a posição solar, além da localização e da hora da observação, utiliza o cálculo do dia Juliano, que equivale aos dias do ano contados de forma contínua. Com isso, realiza-se a correção diária da declinação solar ao longo do ano.

Para determinar a posição do Sol é preciso definir os ângulos solares que a descrevem. São eles: ângulo de azimute (Ψ), altitude solar (α) e ângulo de zênite (θ_z), como é apresentado na Fig. 7.

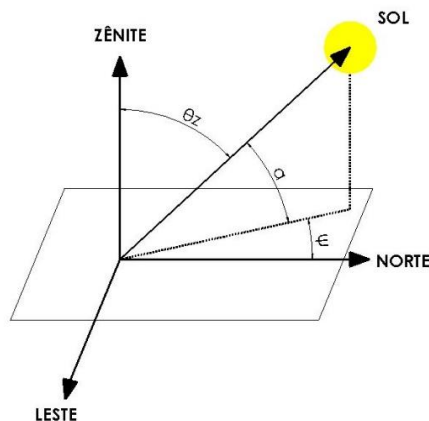


Figura 7 – Ângulos de posicionamento do Sol.

Os parâmetros considerados e as equações utilizadas para o cálculo dos ângulos solares são descritos a seguir.

Ângulo horário. Devido aos movimentos realizados pelo planeta Terra, rotação (giro em torno do seu próprio eixo) e translação (movimento da Terra em sua órbita elíptica ao redor do Sol), o ângulo de incidência dos raios solares varia ao longo do dia. Dessa forma, é necessário definir um ângulo horário (ω). Segundo Pinho e Galdino (2014), considerando que a Terra gira 15° a cada hora, então o ângulo horário é apresentado na Eq. (1), como,

$$\omega = (T - 12) \times 15^\circ \quad (1)$$

Declinação solar. A inclinação do eixo terrestre faz com que a orientação da Terra em relação ao Sol mude continuamente ao longo do ano. No solstício ocorrido entre os dias 21 e 22 de junho, o hemisfério sul apresenta uma inclinação que a distância do Sol, caracterizando o inverno nessa região. Já no solstício ocorrido entre os dias 21 e 22 de dezembro, o hemisfério sul apresenta uma inclinação que o aproxima do Sol, caracterizando assim o verão nessa região. Por esse motivo, faz-se necessário o cálculo da declinação solar para estimar o ângulo que os módulos fotovoltaicos devem ter durante o ano. Segundo Campos (2013), a declinação percebida por um observador no equador terrestre, em um dado dia do ano, é apresentada na Eq. (2),

$$\delta = 23,45 \times \sin[360 \times (J - 80)/365] \quad (2)$$

onde J é o número de dias (dias Julianos), adotando que J = 1 é o primeiro dia do ano, ou seja, dia primeiro de janeiro, e J = 365 é o último dia do ano, ou seja, dia 31 de dezembro. A declinação solar varia ao longo do ano entre $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$. No código implementado no presente projeto, o dia Juliano é calculado para cada dia de rastreamento.

Altitude solar. Após a realização do cálculo do ângulo horário e da declinação solar, calcula-se a altitude solar (α) pela Eq. (3),

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin\delta \cdot \sin\Phi + \cos\delta \cdot \cos\Phi \cdot \cos\omega) \quad (3)$$

onde Φ é a latitude do local de observação. O ângulo de altitude solar está diretamente ligado ao percurso dos raios solares na atmosfera, ou seja, quanto menor o ângulo α , maior é o percurso dos raios.

Ângulo de azimute. Para completar os dados da localização estimada do Sol em um dado horário, calcula-se o ângulo de azimute (Ψ), que é medido a partir do polo norte geográfico até a projeção da trajetória de incidência direta dos raios solares na superfície da terra. O ângulo de azimute pode ser obtido pela Eq. (4),

$$\Psi = \cos^{-1} \left(\frac{-\sin\alpha \cdot \sin\Phi + \sin\delta}{\cos\alpha \cdot \cos\Phi} \right) \quad (4)$$

Ângulo de zênite. O ângulo de zênite pode ser obtido de duas maneiras: a partir do ângulo da altitude solar (α), ângulos complementares, como apresentado na Eq. (5), ou a partir da subtração da latitude do local pela declinação solar, como apresentado na Eq. (6). No entanto, ao realizar o cálculo através da subtração da latitude pela declinação, o resultado obtido será a melhor, e única, angulação para o dia.

$$\theta_z = 90^\circ - \alpha \quad (5)$$

$$\theta_z = \Phi - \delta \quad (6)$$

Implementação do código. O controle para movimentação do protótipo é baseado na hora, minuto, dia, mês e latitude do local. A partir desses dados de entrada, o cálculo dos ângulos de altitude solar, zênite e azimute são realizados e o motor é acionado com a quantidade de passos necessários para alcançar a posição desejada.

Ao iniciar o sistema, a primeira variável verificada pelo controle é a hora (h). Caso a hora esteja na faixa de $0 \text{ hr} \leq h < 8 \text{ hrs}$, o sistema é posicionado para 8 hrs da manhã. Se estiver na faixa de $8 \text{ hrs} \leq h < 18 \text{ hrs}$, o sistema é direcionado para a posição em que o Sol se encontra no momento em que o sistema foi iniciado. Caso o sistema seja iniciado após às 18 hrs, ou seja, após o término do período de rastreamento, o controle realiza o cálculo dos ângulos solares equivalentes às 8 hrs da manhã do dia seguinte e o motor movimenta o protótipo até a posição desejada.

Dentro do período de rastreamento, a atualização da posição do protótipo ocorre a cada 15 min, baseado no algoritmo para o cálculo da variação da direção de incidência dos raios solares ao longo do ano [19]. Ao término deste período, ou seja, às 18 hrs, o controle realiza o cálculo dos ângulos correspondentes a primeira hora de rastreamento do dia seguinte, ou seja, 8 hrs, e o motor posiciona a estrutura nas coordenadas corretas, onde ficará até o próximo horário de atualização da posição solar e movimentação da estrutura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para validar o modelo proposto de rastreador solar foram realizados alguns testes. O objetivo foi garantir que o funcionamento do sistema ocorrerá de maneira satisfatória. Dessa forma, foram realizados os testes do controle de movimentação do rastreador solar para verificar sua performance.

O controle proposto por geometria, foi testado nos dias mais extremos do ano. Dessa forma, o presente trabalho escolheu três dias do ano para simular o controle implementado, que são: 21 de março (equinócio de outono), 21 de junho (solstício de inverno) e 21 de dezembro (solstício de verão). Além disso, para essa avaliação, os dados foram comparados com a base de dados disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL), localizado no Estados Unidos. Na Fig. 8 são apresentados os gráficos do ângulo Azimutal calculados e do NREL, para os dias 21 de março, 21 de junho e 21 de dezembro. Já na Fig. 9 são apresentados os gráficos do ângulo Zênite calculados e do NREL, para os dias 21 de março, 21 de junho e 21 de dezembro.

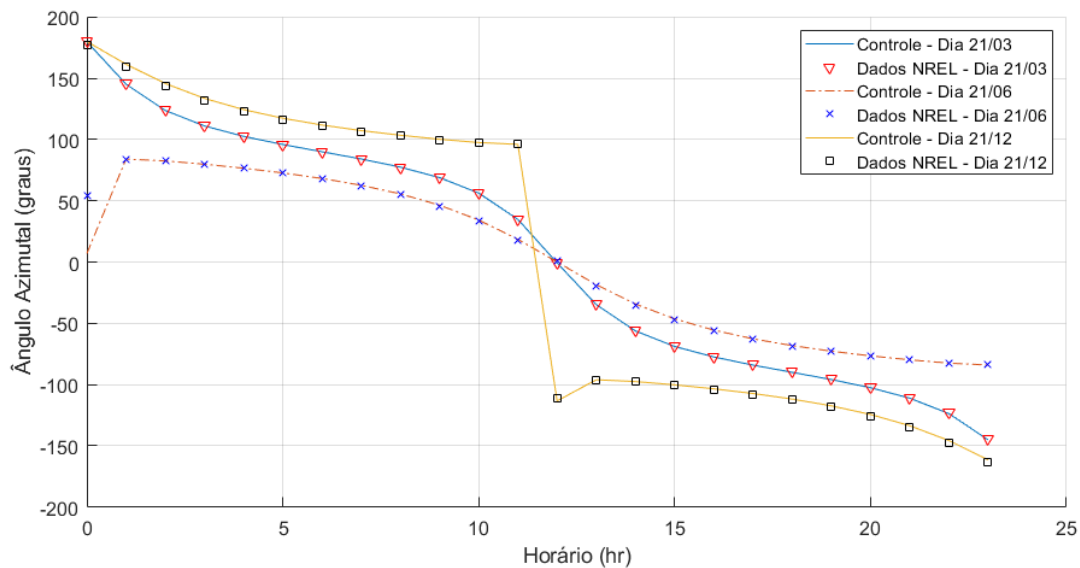


Figura 8 - Curvas do controle e dados NREL para o ângulo Azimutal para os dias 21/03, 21/06 e 21/12.

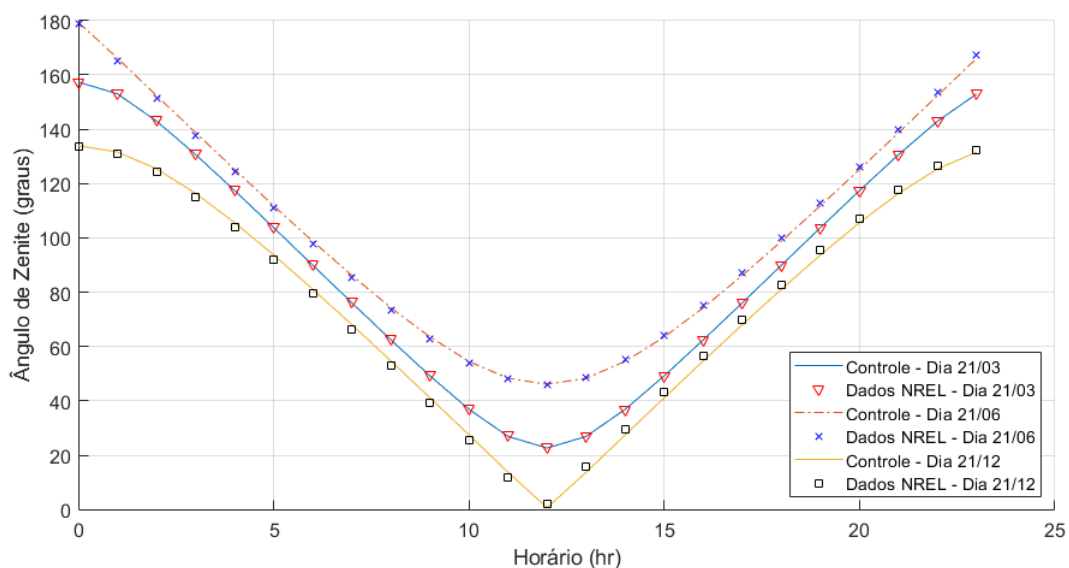


Figura 9 - Curvas do controle e dados NREL para o ângulo Zênite para os dias 21/03, 21/06 e 21/12.

Os gráficos apresentados nas Fig. 8 e 9, demonstram que o controle proposto possui resultados semelhantes aos dados disponibilizados pela NREL. Após a validação do controle, foi realizado o teste com o protótipo para avaliar as diferenças angulares.

Dentro desse contexto, na Tab. 1 são apresentados os resultados dos valores ideais (simulados) e os reais, obtidos com o protótipo. Para o dia 21 de junho, o teste apresentou uma diferença de 0,10 graus de média para o ângulo de azimute, enquanto para o ângulo zênite a diferença foi de -0,20 graus.

Tabela 1 – Teste comparativo entre os ângulos desejados e os medidos no protótipo.

Ângulos \ Horário (hr)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Azimute ideal	56°	46°	34°	19°	0°	-19°	-34°	-46°	-56°	-63°
Azimute medido	55°	47°	34°	18°	0°	-18°	-34°	-46°	-55°	-63°
Diferença entre os ângulos Azimutes	-1°	1°	0°	-1°	0°	1°	0°	0°	1°	0°
Zênite ideal	74°	64°	55°	48°	46°	48°	55°	64°	74°	86°
Zênite medido	74°	63°	55°	49°	46°	48°	55°	64°	73°	85°
Diferença entre os ângulos Zênites	0°	-1°	0°	1°	0°	0°	0°	0°	-1°	-1°

5. CONCLUSÃO

Os rastreadores solares, em alguns casos, podem apresentar um custo-benefício inferior aos sistemas fixos para localizações próximas a linha do Equador. Contudo, para os demais locais o investimento tem sido vantajoso. Visto que, com o avanço tecnológico, esses dispositivos vêm apresentando resultados de produção de energia superiores aos sistemas fixos. Em virtude disso, algumas usinas solares no mundo adotaram esse tipo de sistema móvel.

Dentro desse contexto, o presente trabalho desenvolveu uma solução viável de rastreador solar, utilizando a impressão 3D para fabricar 23 peças da parte estrutural. Essa técnica de fabricação está crescendo em diversos setores, como já foi mencionado. Ele se torna viável, principalmente na obtenção de peças com maior complexidade de fabricação. Assim, espera-se com o modelo proposto, facilitar o acesso de outros pesquisadores, a um tipo de rastreador de fácil aquisição.

O modelo proposto possui facilidade para montagem e versatilidade no posicionamento de instalação. Além disso, a parte de acionamento e aquisição de dados é composto por uma eletrônica de baixo custo. Com relação ao desempenho, nos testes foi demonstrado que o controle proposto, apesar de ser baseado apenas na geometria, possui uma assertividade satisfatória.

Por fim, serão disponibilizados, em um drive, para acesso de qualquer pessoa: o desenho de montagem, os arquivos em .STL para impressão e os códigos com o controle de acionamento dos motores e aquisição de dados para ARDUINO.

REFERÊNCIAS

- Absolar (Associação Brasileira de Energia Solar). Infográfico 11/2019.
- Badescu, V., 1998. Different strategies for maximum solar radiation collection on Mars surface. *Acta Astronautica*, v. 43, n. 7-8, pp. 409-421.
- Campos, M. S., 2013. Programa para o cálculo da variação da direção de incidência dos raios solares ao longo do ano, XLI COBENGE – XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Gramado.
- Dizon, J. R. C., Espera Jr, A. H., Chen, Q., & Advincula, R. C., 2018. Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive Manufacturing*, 20, 44-67.
- Dorian, M. E., Nelson, D. H., 1980. U.S. Patent No. 4,223,214. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Ford, S. L., 2014. Additive manufacturing technology: potential implications for US manufacturing competitiveness. *J. Int'l Com. & Econ.*, pp. 6-40.
- Grena, R., 2008. An algorithm for the computation of the solar position, *Solar Energy*, vol. 82, n. 5, pp. 462-470.
- Hafez, A. Z., Yousef, A. M., Harag, N. M., 2018. Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, pp. 754-782.
- Lazaroiu, G. C., Longo, M., Roscia, M., Pagano, M., 2015. Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption. *Energy Conversion and Management*, vol. 92, 143-148.
- Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., & Sharifi, A., 2009. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 13, n. 8, pp. 1800-1818.
- NREL, 2019. Annual Report. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>, Acessado em: 20/11/2019

- Piombini, E. S., Melo, W. W. M., Campos, G. A. P., 2018. Aplicativo Android para Monitoramento Remoto de Módulos Fotovoltaicos, VII CBENS - VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado.
- Pinho, J. T., Galdino, M. A., 2014. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, CEPTEL – CRESESB, Rio de Janeiro.
- Sarat, S., Yifan, L. V., Hewitt, A., Chalk, R., Thomas, W., Jordison, D., 2019. Additive Manufacturing for the Aircraft Industry: A Review. Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering, Spain, 8.
- Tranchard, S., Rojas, V., 2015. Manufacturing our 3D future. International Organization for Standards, 5.

PRINTED SOLAR TRACKER: AN OPEN SOURCE PROJECT

Abstract. Brazil has a consistent solar irradiation map that assists in the estimation of power generation in certain regions. However, some solutions can improve this generation, such as the use of solar trackers. These devices have varying characteristics with respect to the number of axes (one or two) and the movement system (passive or active). The present work developed a tracking system with two active axes and the structure made from 3D printing. In addition, the model uses fasteners and bearings commercial, low cost electronics and photovoltaic (PV) module of 1 W. The prototype was built and tested using a control based on Sun positioning. The results were satisfactory, since the device obtained a maximum error of 1 degree. Thus, this paper aims to make the complete project of the proposed tracker available on the network, in a platform open source.

Key words: Solar Tracking, Additive Manufacturing, Solar Energy