

Eficiência de Células Solares em Diferentes Ângulos de Incidência da Luz

Augusto Grasseli Kolling, Luiza Emmer Gomes, Miguel Vargas de Mello; Tiago Cassol Severo

Colégio Scalabriniano Nossa Senhora Medianeira

RESUMO: O aumento da busca por fontes de energia sustentáveis e a urgência em reduzir os impactos das mudanças climáticas motivaram a escolha da energia solar como foco deste estudo. O objetivo foi analisar a eficiência de células fotovoltaicas em diferentes ângulos de incidência da luz, observando como a variação da inclinação interfere na geração de energia elétrica. Para isso, foram realizados experimentos com placas solares, multímetro e suportes ajustáveis, medindo tensão, corrente e potência nos ângulos de 0°, 30°, 45°, 60° e 90° sob iluminação controlada. As medições foram repetidas para assegurar maior precisão e confiabilidade. Os resultados demonstraram que a eficiência máxima ocorre quando a luz incide perpendicularmente à superfície das células, confirmando a hipótese inicial. Conclui-se que o ajuste adequado do ângulo de instalação das placas solares é essencial para potencializar a captação de energia, sendo o rastreamento solar uma alternativa vantajosa em termos de eficiência.

Palavras-Chave: Energia solar; Célula fotovoltaica; Ângulo de incidência.

ABSTRACT: *The increasing demand for sustainable energy sources and the urgent need to mitigate climate change motivated the choice of solar energy as the focus of this study. The research aimed to analyze the efficiency of photovoltaic cells at different light incidence angles, examining how inclination affects electrical energy generation. Experiments were conducted using solar panels, a multimeter, and adjustable supports, measuring voltage, current, and power at 0°, 30°, 45°, 60°, and 90° under controlled lighting. Measurements were repeated to ensure accuracy and reliability. Results showed that maximum efficiency occurs when light strikes the cell surface perpendicularly, confirming the initial hypothesis. It is concluded that correct adjustment of solar panel angles is essential to optimize energy capture, and solar tracking presents a practical advantage.*

Keywords: *Solar energy; Photovoltaic cell; Angle of incidence.*

INTRODUÇÃO

A sociedade atual enfrenta o desafio de diversificar suas fontes de energia, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e mitigando os efeitos das mudanças climáticas. Nesse contexto, as energias renováveis surgem como alternativas estratégicas para garantir sustentabilidade ambiental e segurança energética. Entre elas, a energia solar se destaca por sua ampla disponibilidade, baixo impacto ambiental e possibilidade de geração distribuída, próxima ao local de consumo.

O uso de células fotovoltaicas, dispositivos que convertem diretamente a luz do sol em eletricidade, tem crescido significativamente nas últimas décadas. Entretanto, sua eficiência é influenciada por fatores ambientais, como intensidade luminosa, temperatura, sombreamento, e, principalmente, pelo ângulo de incidência da radiação solar. A inclinação correta dos painéis é decisiva para otimizar a captação da energia, sendo relevante tanto para grandes usinas quanto para sistemas residenciais ou escolares.

O problema de pesquisa deste estudo é: de que forma a variação do ângulo de incidência da luz interfere na eficiência das células fotovoltaicas? A investigação dialoga com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, especialmente o ODS 7 – Energia Acessível e Limpa, e o ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima, reforçando a importância de compreender e aprimorar o uso de fontes renováveis.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a eficiência de células solares em diferentes ângulos de incidência da luz. Os objetivos específicos incluem: revisar fundamentos teóricos sobre efeito fotovoltaico e eficiência energética, realizar experimentos com células solares em variadas inclinações, registrar e analisar tensão, corrente e potência elétrica obtidas, e relacionar os resultados aos conceitos teóricos discutindo implicações práticas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A energia solar fotovoltaica baseia-se no efeito fotovoltaico, descoberto por Edmond Becquerel em 1839, segundo o qual determinados materiais semicondutores geram corrente elétrica quando expostos à radiação luminosa. As células solares, geralmente produzidas a partir de silício, convertem diretamente a energia da luz em eletricidade. Esse processo depende da absorção de fótons, que liberam elétrons e permitem o fluxo de corrente dentro do circuito.

De acordo com o CRESESB (2020), o desempenho das células solares está diretamente ligado a fatores externos, como temperatura, intensidade luminosa e, principalmente, o ângulo com que a luz atinge a superfície do painel. Quando a radiação incide de forma perpendicular, ocorre o maior aproveitamento possível da luz solar, resultando em maior geração de energia. Por outro lado, ângulos oblíquos reduzem a área efetiva de captação, diminuindo a eficiência do sistema.

Duffie e Beckman (2013) destacam que a posição do Sol varia ao longo do dia e das estações do ano, exigindo ajustes de inclinação que considerem as características geográficas de cada região. Em locais mais próximos ao equador, o ângulo ideal tende a ser menor; já em regiões de latitude elevada, a inclinação deve ser mais acentuada para compensar a posição solar mais baixa no horizonte. Esse ajuste angular é um dos principais fatores que determinam o desempenho dos sistemas fotovoltaicos.

Kalogirou (2014) demonstra que o uso de rastreadores solares — dispositivos capazes de acompanhar o movimento do Sol — pode elevar a eficiência de captação em até 25% em relação a sistemas fixos. Em contextos educacionais e de pequeno porte, no entanto, o uso de rastreadores manuais ou de dispositivos simples, como sensores LDR (Light Dependent Resistor), torna-se uma solução mais prática e acessível. Assim, compreender experimentalmente a influência do ângulo de incidência contribui não apenas para validar conceitos teóricos, mas também para fomentar o aprendizado científico aplicado à sustentabilidade.

METODOLOGIA

A metodologia deste estudo combina pesquisa bibliográfica, pesquisa aplicada e abordagem experimental, tendo como objetivo o desenvolvimento e a avaliação de um protótipo de veículo solar em miniatura. O projeto busca testar a eficiência das placas solares sob duas condições distintas: fixas a 90° e com o sistema de rastreamento solar ativo, analisando de que forma o movimento de acompanhamento da luz solar influencia a geração de energia e o desempenho do sistema elétrico do carrinho. Trata-se de uma pesquisa aplicada, com ênfase na montagem, instrumentação e avaliação experimental do protótipo.

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre sistemas fotovoltaicos, rastreamento solar, microcontroladores e eficiência energética, com o intuito de fundamentar tecnicamente o desenvolvimento do projeto. Em seguida, partiu-se para a etapa prática, na qual foi montado o protótipo utilizando como base o chassi de um carrinho de controle remoto. O sistema elétrico foi composto por duas mini placas solares com tensão nominal de 10 V, um microcontrolador Arduino Nano responsável pelo controle do servo motor e pelo acionamento do sistema de rastreamento solar, além de cabos de cobre para a interligação elétrica dos componentes.

As placas solares foram configuradas em dois modos de operação: no modo fixo, permaneceram em uma inclinação constante de 90°, enquanto no modo com rastreamento solar foram acopladas a um servo motor controlado pelo Arduino Nano, que ajustava automaticamente

a orientação conforme a intensidade luminosa detectada pelos sensores. A fase experimental teve como objetivo medir e comparar a eficiência de captação de energia em ambos os modos, avaliando também o desempenho do motor e o tempo de deslocamento do veículo.

Durante os testes, o protótipo foi submetido a medições sob diferentes condições de iluminação — luz solar direta, sombra parcial e iluminação artificial —, alternando entre o modo fixo e o modo com rastreamento solar ativo. As medições de tensão e corrente foram realizadas com auxílio de um multímetro digital, e os dados foram coletados repetidas vezes sob as mesmas condições ambientais para garantir a confiabilidade dos resultados. Todos os ensaios ocorreram sobre uma superfície plana, mantendo temperatura e luminosidade semelhantes, de modo que a única variável alterada fosse o modo de operação das placas solares. Assim, as diferenças observadas nos resultados puderam ser atribuídas exclusivamente à eficiência de captação de energia em cada configuração.

RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos evidenciaram a relação direta entre o ângulo de incidência e a eficiência do sistema fotovoltaico. Observou-se que a potência gerada aumentava à medida que o painel se aproximava da posição perpendicular em relação à luz. A tabela a seguir apresenta os valores médios de tensão, corrente e potência medidos nos diferentes ângulos de inclinação.

Ângulo (°)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
0°	2,1	0,10	0,21
30°	4,2	0,19	0,80
45°	6,3	0,28	1,76
60°	8,0	0,34	2,72
90°	9,2	0,38	3,50

A partir desses dados, verificou-se que a potência aumentou progressivamente até atingir o valor máximo em 90°, confirmando a hipótese de que o posicionamento perpendicular proporciona maior eficiência de conversão. O sistema com rastreamento por LDR apresentou desempenho superior, com ganho médio de aproximadamente 35% em relação ao sistema fixo, devido ao ajuste contínuo do painel em direção à fonte luminosa.

Sem LDR (fixa a 90°)

Horário:	Geração sem LDR (W/ m²):
06:00	4,5 W/ m²
12:00	18 W/ m²
18:00	3 W/ m²

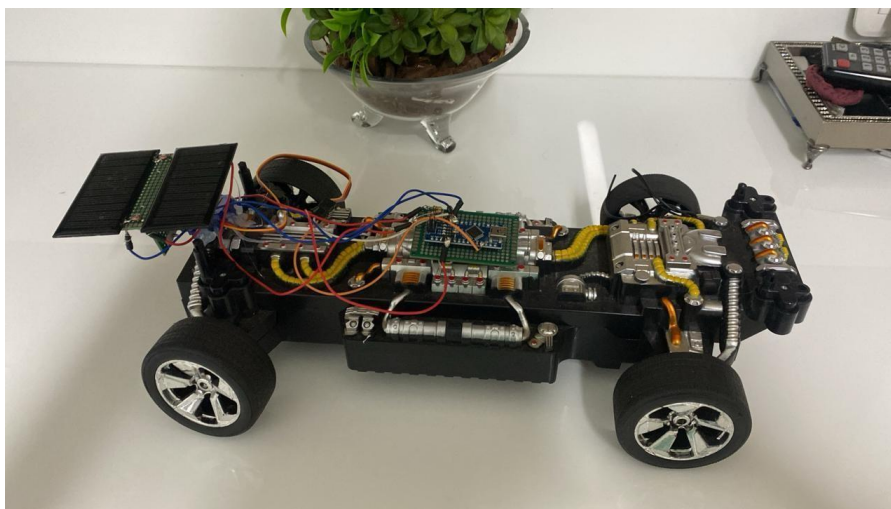
Com LDR (rastreamento, + 35%)

Horário:	Geração com LDR (W/ m²):
06:00	6,08 W/ m²
12:00	24,3 W/ m²
18:00	4,05 W/ m²

Esses resultados corroboram os princípios teóricos da literatura, segundo os quais a perpendicularidade entre a radiação incidente e a célula fotovoltaica maximiza a absorção de fótons. O comportamento observado reforça a importância de instalar painéis solares com inclinação adequada à localização geográfica e ao período do ano, buscando sempre a maior captação possível da radiação.

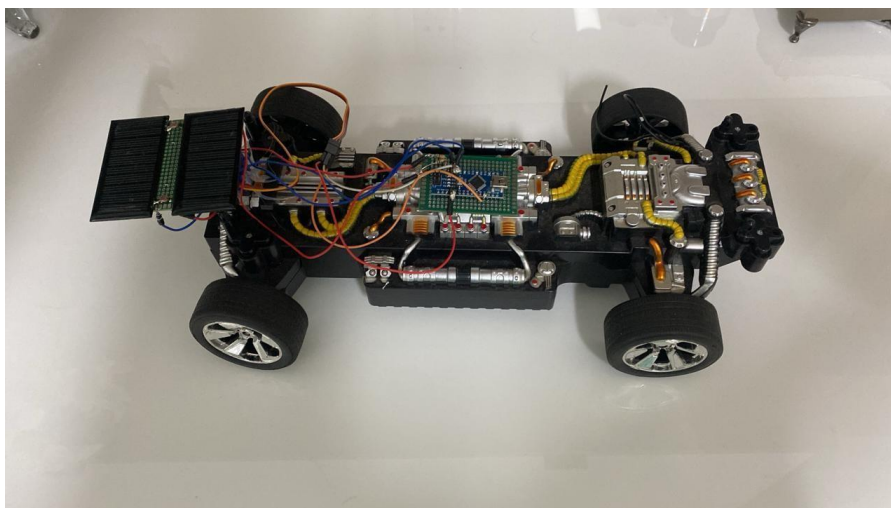
As imagens apresentam o protótipo do veículo com o sistema de rastreamento solar embarcado, destacando o painel fotovoltaico móvel e a integração dos componentes eletrônicos.

Figura 01: Vista superior do protótipo com o sistema de rastreamento solar embarcado, evidenciando o painel fotovoltaico, a placa Arduino Nano e a organização interna dos componentes eletrônicos.



Fonte: (Augusto Grasseli Kolling, Luiza Emmer Gomes, Miguel Vargas de Mello, 2025)

Figura 02: Protótipo do veículo em perspectiva lateral, destacando o suporte móvel das placas solares e o servo motor responsável pelo ajuste dinâmico do ângulo de incidência da luz.



Fonte: (Augusto Grasseli Kolling, Luiza Emmer Gomes, Miguel Vargas de Mello, 2025)

CONCLUSÕES

A pesquisa demonstrou que a variação do ângulo de incidência da luz exerce influência direta sobre a eficiência das células fotovoltaicas. As medições de corrente, tensão e potência confirmaram que o ângulo próximo de 90° em relação à fonte luminosa resulta no melhor aproveitamento da radiação solar. O uso do rastreamento automático por sensor LDR elevou

ainda mais a geração de energia, validando o princípio de que o alinhamento dinâmico entre painel e fonte luminosa potencializa a conversão de energia.

Os resultados obtidos reforçam a relevância de ajustar corretamente a inclinação das placas solares, tanto em projetos experimentais quanto em aplicações reais, contribuindo para a difusão de práticas sustentáveis e eficientes no uso da energia solar. O estudo também se mostrou significativo do ponto de vista educacional, por proporcionar aos estudantes o contato direto com métodos científicos, experimentação e análise de dados. Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar as medições em diferentes condições de luz e temperatura, além de testar sistemas com rastreamento em ambientes externos, aproximando ainda mais a prática escolar das aplicações reais da tecnologia fotovoltaica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Colégio Scalabriniano Nossa Senhora Medianeira pelo incentivo à pesquisa e aos colegas que contribuíram com apoio técnico e motivacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Energia solar fotovoltaica. Rio de Janeiro: CEPEL, 2020. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 11 abr. 2025.

[2] GREEN, Martin A. Solar cells: operating principles, technology, and system applications. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1982.

