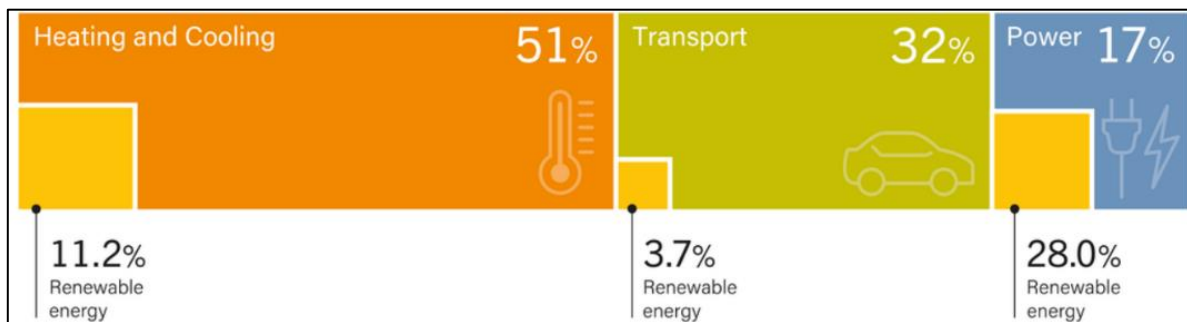


## Aprendizagem Ativa no Ensino de Ciências, Matemática e Tecnologias

### Conceitos de energia solar fotovoltaica como catalisador de atividades práticas em eletrodinâmica

**Objetivo:** Introduzir conceitos fundamentais da eletrodinâmica baseado em atividades práticas com células solares e módulos solares para estudantes do Ensino Médio.

**Introdução:** As energias renováveis voltadas a geração de energia elétrica tem sido cada vez mais presente na sociedade. Pelos dados da REN21 [1], todo o consumo de energia do planeta pode ser dividido em três grandes setores: aquecimento e resfriamento, transporte e energia elétrica. A energia elétrica demandada pela sociedade equivale a 17% desta fatia e ainda é gerada majoritariamente por combustíveis fósseis ou nuclear. Entretanto, observa-se nos últimos 10 anos uma crescente entrada da energia solar e energia eólica para o abastecimento da matriz elétrica mundial e os dados mais recente coletados, indicam que 28% de toda energia elétrica gerada para aplicações, sejam elas domésticas ou empresariais, são oriundas de energias renováveis. Na Figura 1 é apresentado a matriz de consumo energético do ano de 2021 do planeta.



**Figura 1: Divisão do consumo de energia no planeta e o percentual de entrada de energias renováveis da geração de eletricidade. Fonte: REN 21 [1]**

No Brasil, a realidade é diferente do mundo já que a matriz de geração elétrica centralizada é majoritariamente renovável abastecido por usinas hidroelétricas, usinas eólicas e usinas solares, alcançando uma marca de 74,7% de toda energia elétrica gerada por essas fontes de energia conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica. A distribuição da geração elétrica brasileira pode ser analisada na Figura 2, extraída do banco de dados da ANEEL [2].

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	% (Pot. Fiscalizada)
UHE	219	103.487.521,00	103.195.357,00	54,25%
UTE	3110	55.848.548,01	46.056.952,41	24,21%
EOL	1399	44.420.188,86	24.619.523,86	12,94%
UFV	19941	90.307.706,29	7.768.589,51	4,08%
PCH	535	7.209.061,32	5.703.718,57	3,00%
UTN	3	3.340.000,00	1.990.000,00	1,05%
CGH	724	884.375,02	876.916,02	0,46%
<b>Total</b>	<b>25931</b>	<b>305.497.400,50</b>	<b>190.211.057,37</b>	<b>100,00%</b>

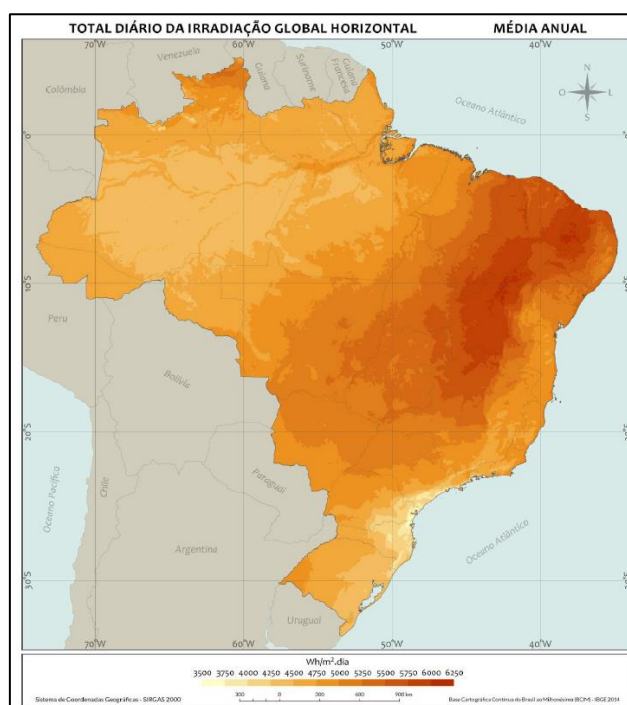
**Figura 2: Imagem da tabela retirada do banco de dados da ANEEL, onde apresenta a divisão de fontes de energia voltadas a geração de energia elétrica no Brasil. Fonte: ANEEL [2]**

Mesmo assim, ainda há muito desconhecimento do setor elétrico brasileiro por professores, estudantes e, assim, a sociedade em si. Energia, como um conceito estratégico para uma nação e de uso comum por toda a sociedade, deve ter sua relevância mais bem apresentada desde a formação fundamental, para que a escola forme cidadãos preparados para que possam opinar de maneira construtiva para um setor gerador de milhares de empregos e oportunidades para nosso país.

Conforme Moreira [3], o ensino de Física no Brasil é baseado em uma aprendizagem mecânica voltada a preparação para provas, o que é conhecido como “*teaching for testing*”, deixando o conhecimento sem um propósito mais profundo e social e sim meramente uma preparação para testes finais ou vestibulares. A criação de situações que tragam sentido ao estudante tem uma função de trazer engajamento dos estudantes para os temas relevantes da Física e um aprendizado mais efetivo e com poder transformador no cidadão.

Assim, esse artigo tem como meta trazer um conjunto de atividades que envolvam a energia solar fotovoltaica de forma contextualizada, onde os estudantes possam observar as características de fonte de geração de energia elétrica e trazerem suas próprias conclusões sobre a sua aplicabilidade em nossa sociedade.

**Embasamento Teórico:** O Brasil apresenta uma oferta de energia solar que se estende de Norte a Sul de seu território. É possível observar na Figura 3, o mapa da irradiação global média na horizontal com os seus valores em todo o território brasileiro em kWh/m<sup>2</sup> dia. Esta unidade de medida tem papel fundamental, porque ela informa qual a quantidade de energia solar média (irradiação) que chega em um metro quadrado durante um dia de exposição. Esse valor indica onde os sistemas solares poderão ter maior capacidade de gerar energia elétrica e, assim, abastecer casas ou empresas de maneira satisfatória.



**Figura 3: Irradiação Global Horizontal e a distribuição do potencial para cada região do Brasil. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar [4]**

Compreendendo este conceito observa-se que a região nordeste apresenta o maior potencial solar do Brasil, com valor médio de 5,49 kWh/m<sup>2</sup> dia. As regiões Sudeste e Centro-Oeste apresentam valores em torno de 5,07 kWh/m<sup>2</sup> dia e a região Sul do Brasil, ela apresenta características de irradiação solar mais próximas às encontradas nos países europeus, particularmente devido a variabilidade das horas de exposição de Sol do inverno comparado ao verão.

Mesmo a localidade brasileira que apresenta a menor radiação solar no país, ela é quase 25% superior a maior radiação solar na Alemanha, um dos países que mais utiliza o recurso solar para geração de energia elétrica. Justificando que qualquer localidade do Brasil é um local possível para utilizar a energia solar fotovoltaica.

O equipamento de mais visibilidade da energia solar fotovoltaica é o módulo solar. Ele estará em telhados de casas e empresas, em usinas de solo, em garagens solares, em veículos e até em satélites gerando energia para um determinado objetivo. Este módulo solar é constituído por partes menores que são os dispositivos que geram a eletricidade, as chamadas células solares. Elas são as responsáveis pela conversão de energia solar em energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico e, em sua maioria, são fabricadas a partir de substratos de silício decorrente de diversos passos de microeletrônica até estarem prontas para a geração de eletricidade [5].

Os átomos de silício são compostos por 14 prótons e 14 elétrons em seu estado fundamental. Entretanto, neste estado o silício é um isolante elétrico e precisa da adição de impurezas de forma controlada para fazer uso do efeito fotovoltaico. Este efeito amplia a mobilidade de cargas elétricas a partir da conversão da irradiação solar, composta por fótons de energia majoritariamente na faixa da luz visível, que chegam até a superfície terrestre e, assim, nas células solares, em energia elétrica em modo de tensão e corrente elétrica contínuas. Tendo tensão e corrente elétrica é possível calcular a potência de uma célula solar a partir da equação (1).

$$\text{Potência (Watt)} = \text{Tensão Elétrica (Volt)} \cdot \text{Corrente Elétrica (Âmpere)} \quad (1)$$

Entretanto, a potência produzida por uma única célula solar não produz valores elétricos práticos para o uso em escala residencial ou empresarial. Se analisado os parâmetros elétricos de uma célula solar comercial, ela pode alcançar mais de 12 A de corrente elétrica dependendo da sua área, mas uma tensão de somente 0,6 V. Isso resultaria em uma potência máxima de 7,2 Wp (Watt-pico), isto é, uma potência de 7,2 W quando a potência solar for igual a 1000 W/m<sup>2</sup>.

Em instalações residenciais, a potência de uma célula solar não é relevante e seria necessário esforço e tempos inviáveis para alcançar uma tensão e, assim, uma potência elétrica satisfatória para o abastecimento. Então, o conceito de módulo fotovoltaico é mais prático já que se caracteriza como um conjunto de células solares unidas para atender as demandas de tensão, corrente e resultarem em potência elétricas mais atrativas.

Para solucionar o problema de baixas tensões, este módulo fotovoltaico irá ter as células solares conectadas em série, conforme a Figura 4, para que haja a soma da tensão elétrica e a manutenção da corrente elétrica da célula solar. Cada célula solar em série irá somar 0,6 V ao módulo se todos forem expostas a mesma quantidade de irradiação solar. Então, se houver seis células solares em série, iluminadas pelo Sol, surgirá uma corrente de 12 A, mas agora com uma tensão de 3,6 V alcançando a potência de 43,2 Wp.

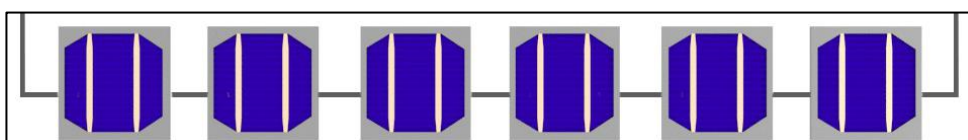


Figura 4: Seis células solares conectadas em série para aumento da tensão elétrica.

Essas mesmas células solares podem ser também conectadas em paralelo para que a tensão elétrica se mantenha fixa, mas que haja um aumento da corrente elétrica gerada por cada célula solar. Então cada célula solar tem um caminho individual para que sua corrente elétrica flua quando iluminada. Assim, se a célula solar estiver produzindo uma corrente de 12 A, na saída deste sistema haverá 24 A de corrente elétrica contínua, mas com a tensão elétrica mantida igual. Neste caso da Figura 5, as duas células irão produzir uma tensão de 0,6 V mas uma corrente elétrica de 24 A que irá resultar em uma potência de 15,6 Wp.

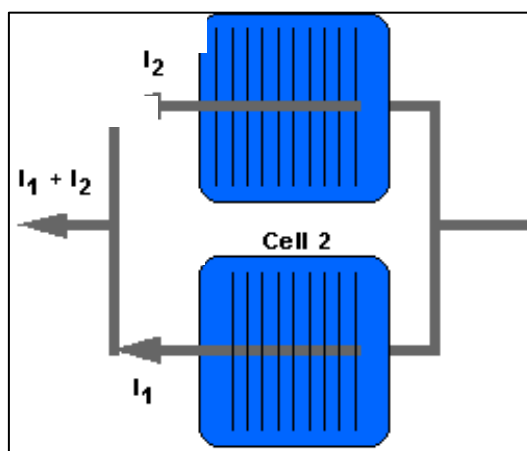
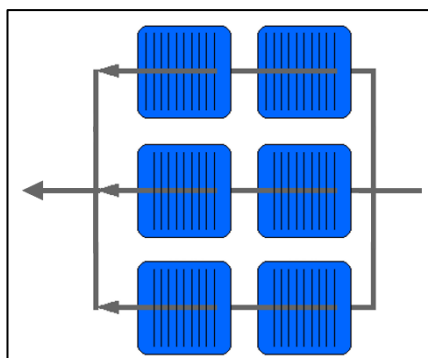


Figura 5: Duas células solares conectadas em paralelo para aumento da corrente elétrica.

Para um módulo solar é comum ver associações mistas de células solares para ter tensões e correntes satisfatórias para o uso residencial ou empresarial. Comparando o mesmo número de células solares em série com o mesmo número de células solares em paralelo com um circuito misto de série e paralelo como a Figura 6, a potência resultante seria a mesma, mesmo que o módulo solar tenha tensões e corrente elétrica distintas.



**Figura 6: Associação mista de seis células aumentando suas características de tensão, corrente e potência elétrica.**

Assim, levando em consideração as diferentes associações de seis células solares, os valores comparativos de tensão elétrica, da corrente elétrica e da potência elétrica resultantes para esses três módulos solares hipotéticos podem ser analisados na Tabela 1.

**Tabela 1: Comparativo dos valores de características elétricas para três tipos de associações de células solares.**

Módulo Solar Hipotético	Número de Células	Tensão Elétrica	Corrente Elétrica	Potência Elétrica (P = V.I)
Células Solares em Série	6	3,6V (6 x 0,6V)	12 A	43,2 Wp
Células Solares em Paralelo	6	0,6V	72 A (6 x 12 A)	43,2 Wp
Células solares tanto em série como em paralelo	6 (2 células em série em cada uma das 3 linhas em paralelo)	1,2 V (2 x 0,6V)	36 A (2 x 12 A)	43,2 Wp

Hoje em dia, os módulos fotovoltaicos possuem entre 130 até 160 células solares associadas em circuito misto, com tensões elétricas que ficam na ordem de 40-50 V e correntes elétricas de 10-15 A, e potência média de 500Wp. Na Figura 7, é apresentado um sistema fotovoltaico, com cinco módulos instalados em série e utilizado para abastecer parcialmente a Universidade de Caxias do Sul.



**Figura 7: Módulos fotovoltaicos de 400Wp cada, com suas células solares em circuito misto, instaladas na UCS.**

**Materiais:** Uma atividade simples e bem motivadora para estudantes do Ensino Médio que estão estudando circuitos elétricos é trabalhar com a associação de células solares. Assim, os materiais necessários para compor um kit solar para um grupo de três a quatro estudantes são:

- 05 células solares para associação série, paralela e mista;
- Cabos elétricos com conectores jacaré para trabalhar as associações;
- Ferro de solda e solda para manter os cabos elétricos firmes;

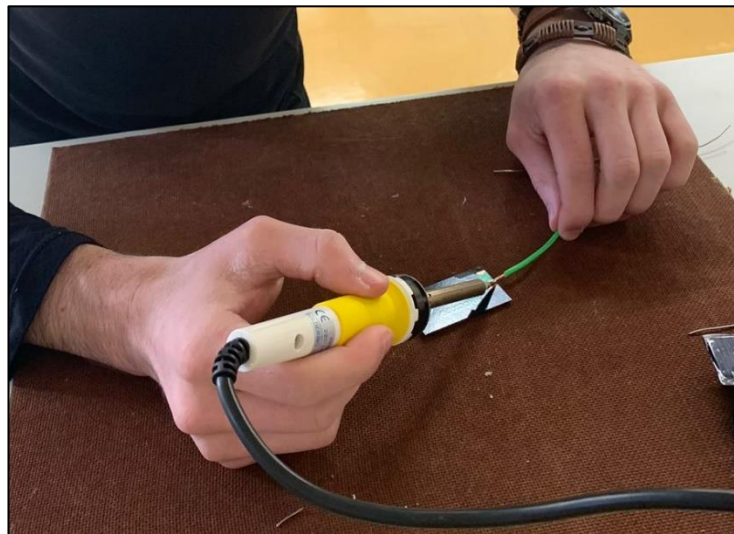
- 02 Multímetros, um para medição de tensão elétrica e outro para medição de corrente elétrica;
- 01 LED Vermelho para ver a energia elétrica gerada produzir um trabalho útil;
- Uma lâmpada Incandescente com spot para servir de Sol se não for possível trabalhar fora do laboratório.

Estes materiais podem ser facilmente encontrados na internet ou em casas de materiais elétricos. A soma de um kit solar para essa prática, no ano de 2023, não é superior a R\$ 100,00 tendo os multímetros o maior valor agregado. Se não houver a possibilidade de compra de dois multímetros, um já é possível executar o experimento. Somente é importante reforçar que o uso de dois multímetros reduz a chance de queimar o dispositivo com a troca de tensão e corrente elétrica durante a prática. Mesmo que a associação de células solares não alcance níveis de corrente elétrica que sejam perigosas e mesmo que dificilmente eles venham a queimar o multímetro em uma instalação incorreta das células solares e multímetro, é bom atender as normas de boas práticas exigidas por esse tipo de instrumentação elétrica.

Nesta atividade, será considerado um trabalho em laboratório. Então, há a necessidade do uso de uma lâmpada incandescente para a atividade. Reforça-se que a lâmpada seja incandescente, já que o espectro emitido por essas lâmpadas é mais próximo ao da luz solar quando comparada com as lâmpadas LED ou fluorescente que poderão trazer dificuldades na visualização das características elétricas.

Esta prática é indicada ter três momentos distintos de aproximadamente uma hora cada. O primeiro momento para a preparação dos kits solares, o segundo momento para a medição e familiarização dos multímetros e suas conexões com a células solares e o terceiro momento para que trabalhe diretamente as associações de células solares.

Com os grupos divididos, faça seus estudantes trabalharem o primeiro momento, onde com uma célula solar, cabos elétricos, jacarés e ferro de solda eles irão conectar os polos positivos e negativos das células solares e ter mais facilidade de manuseio. Na Figura 8 é apresentado a soldagem de uma célula solar.



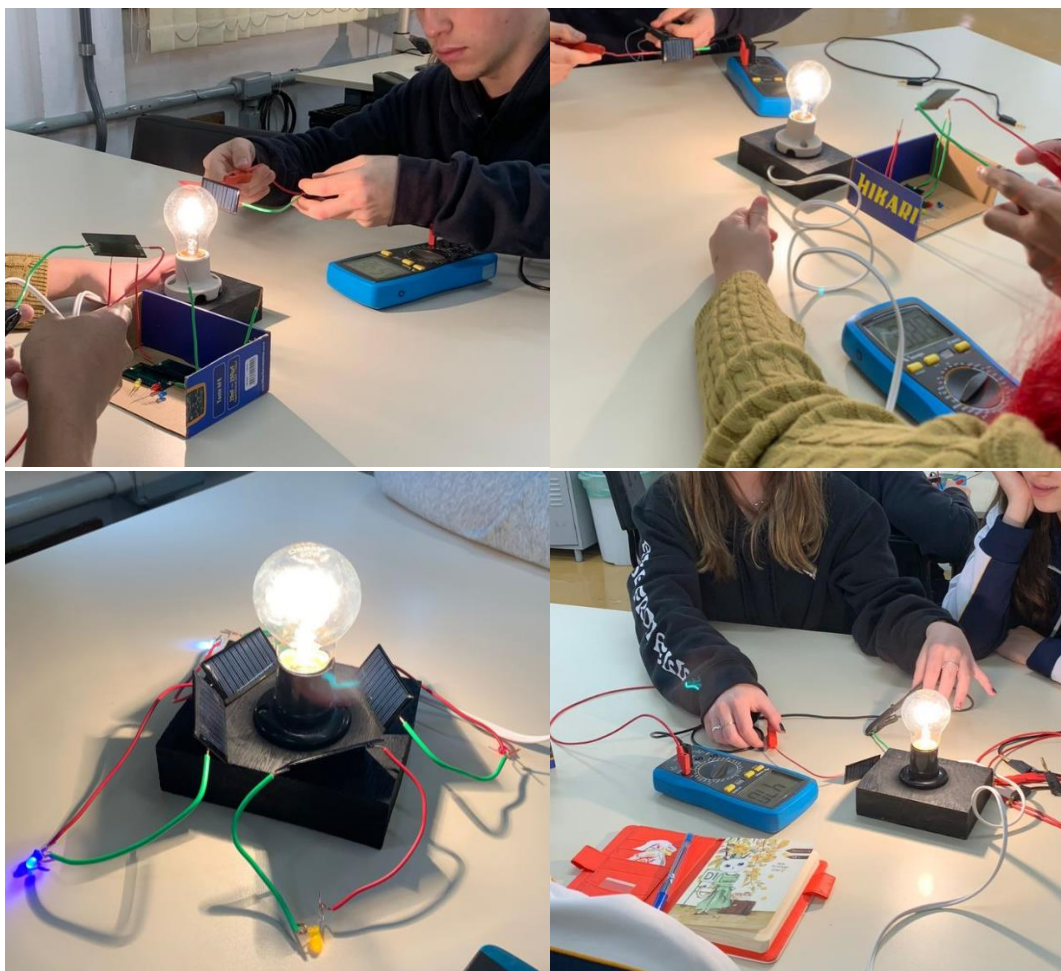
**Figura 8: Estudante soldando os cabos em uma célula solar para futuro uso.**

Faça a conexão de cabos e jacarés em todas as células solares disponíveis para sua prática. Depois, vá para o segundo momento e escolha uma célula solar e a conecte junto ao LED e em série com o multímetro, em forma de amperímetro, para a medição de corrente elétrica. Depois, use o segundo multímetro, como voltímetro, e o conecte em paralelo para a medição de tensão elétrica. Posteriormente, aproxime a lâmpada incandescente a célula solar. Será possível ver sinais de tensão e corrente elétrica passando pelos multímetros e que irão variar conforme distância da lâmpada incandescente. Neste formato, dificilmente o LED irá acender mesmo que apareça sinais de tensão e corrente elétrica nos multímetros.

Então, para o terceiro momento, peça para seus estudantes conectarem mais uma célula solar em série ao lado da outra célula solar e repita o procedimento. Durante todos os momentos apresentados é importante reforçar os conceitos de tensão e corrente elétrica, como conectar os multímetros e, ainda, instigar os estudantes com perguntas sobre o porquê uma célula solar ou poucas células solares não conseguem acender um LED, ou ainda, qual a influência da proximidade da lâmpada com os valores que tem sido mostrado nos multímetros.



O LED vermelho tende a acender quando tiveres de três a quatro células solares conectadas em série. Assim, é o momento de trabalhar com os estudantes as características das associações de células solares. Faça-os associar em série, em paralelo e em misto e anote valores de tensão e corrente elétrica, calcule potência e, ainda, se tal associação acendeu ou não a célula solar. Não esqueça também de solicitar que seus estudantes mantenham a distância da célula solar fixa ou variar de 10 em 10 cm, para que eles possam analisar a influência da distância nas características elétricas apresentadas. Mais um ponto interessante é pedir que seus estudantes obstruam a passagem de luz em uma célula solar quando tiverem uma associação que acenda o LED. Essa obstrução poderá apagar o LED em uma associação série, mas em uma associação mista isso poderá não acontecer. Na Figura 9 é apresentado um conjunto de imagens de estudantes da 3ª série do Ensino Médio, trabalhando com células solares, associações e multímetros.



**Figura 9: Aplicação dos conceitos de eletrodinâmica e energia solar em uma turma da 3ª série do Ensino Médio.**

**Considerações Finais:** O trabalho de laboratório com perguntas motivacionais e, ainda, baseado em um tema de relevância social desperta o interesse, motivação e horas de aprendizado contextualizado onde eles podem levar seus conhecimentos a patamares de aplicação para a sociedade. O uso de estratégias que visem colocar o estudante no centro da busca de seu conhecimento, onde o professor é mais um mediador do assunto e tenta o conduzir a encontrar as suas respostas baseadas na ciência pode ter um impacto para toda a vida deste estudante. Além disso, quando a pauta é atual e amplamente explorada pela mídia pode ajudar como catalisador de interesse deste estudante em conhecer mais sobre o assunto e não somente se preparar para um teste ou prova.

O uso de fontes renováveis limpas, com pouco impacto ambiental e que podem promover a geração de empregos e rendas para as famílias são assunto que o professor de física pode levar para o ambiente de ensino, além de construir parcerias com outros colegas de profissão como os professores de geografia e história, que poderão agregar com valores econômicos e sociais, além de apresentar que o trabalho conjunto vale também aos professores e não só a eles.

## **Bibliografia:**

- [1] REN21, Global Status Report, 2021. Disponível em <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/> Acesso em 12 fev. 2023.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica. Plataforma SIGA, 2023. Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9> Acesso em 12 fev. 2023.
- [3] MOREIRA, M. A.. Desafios no ensino da física. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, n. Rev. Bras. Ensino Fís., 2021 43 suppl 1, 2021.
- [4] PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>
- [5] CRESESB, Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos, 2014. Disponível em [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf) Acesso em 10 fev.2023.