

**COLÉGIO PEDRO II
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA,
EXTENSÃO E CULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU –
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA NA
EDUCAÇÃO BÁSICA**

RICARDO BRENO BARBOSA BATISTA

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O EFEITO
FOTOVOLTAICO: Potencial solarimétrico do Norte de Minas
Gerais como oportunidade de consolidação de conceitos**

Rio de Janeiro

2025

RICARDO BRENO BARBOSA BATISTA

SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O EFEITO FOTOVOLTAICO: Potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais como oportunidade de consolidação de conceitos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu – Curso de Especialização em Especialização em Ensino de Física na Educação Básica, ofertado pela Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura do Colégio Pedro II, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Especialização em Ensino de Física na Educação Básica.

Orientador(a): M.e. Alfredo Sotto Fernandes Junior

Rio de Janeiro

2025

COLÉGIO PEDRO II

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E CULTURA

BIBLIOTECA PROFESSORA SILVIA BECHER

CATALOGAÇÃO NA FONTE

B333 Batista, Ricardo Breno Barbosa

Sequência didática sobre o efeito fotovoltaico : potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais como oportunidade de consolidação de conceitos / Ricardo Breno Barbosa Batista. - Rio de Janeiro, 2025.

90 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Física na Educação Básica) – Colégio Pedro II, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura.

Orientador: Alfredo Sotto Fernandes Junior.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Energia Solar. 3. Efeito fotovoltaico. 4. Sequência didática. 5. Sustentabilidade. I. Fernandes Junior, Alfredo Sotto. II. Colégio Pedro II. III Título.

CDD 530

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Simone Alves – CRB7 5692.

RICARDO BRENO BARBOSA BATISTA

SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O EFEITO FOTOVOLTAICO: Potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais como oportunidade de consolidação de conceitos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu – Curso de Especialização em Ensino de Física na Educação Básica, ofertado pela Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura do Colégio Pedro II, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Ensino de Física na Educação Básica.

Aprovado em 10 de Julho de 2025.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Me. Alfredo Sotto Fernandes Junior.

CPII

Orientador

Prof. Dr. Robson Costa de Castro.

CPII

Prof. Me. Wagner de Souza.

CEFET-RJ

Rio de Janeiro

2025

Dedico este trabalho a todos aqueles que, como eu, buscam maneiras cada vez mais interessantes para ensinar física.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por me conceder saúde, força e coragem para enfrentar os desafios desta caminhada acadêmica.

À minha esposa, Tatiane, por todo o amor, paciência, incentivo e compreensão nos momentos em que precisei me ausentar da convivência familiar para me dedicar aos estudos. Aos meus filhos, Alexandre, Heitor e Ricardo, que são minha inspiração diária e motivo maior para buscar sempre o melhor.

Ao Colégio Pedro II, em especial ao Departamento de Pós-Graduação, pelo apoio institucional e pela formação de excelência proporcionada ao longo desta jornada.

Ao Professor Alfredo Sotto Fernandes Junior, meu orientador, pela dedicação, pelas valiosas orientações, pela escuta atenta e pelos ensinamentos compartilhados durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES, pelo papel fundamental no incentivo à formação de professores e no fortalecimento da pesquisa em educação no Brasil.

A todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

*“ Acho, porém, que a única solução para este problema da educação é perceber que o melhor ensino só pode ser praticado quando há uma relação individual direta entre estudante e um bom professor. ”
(Richard P. Feynman, 2021, p. 30)*

RESUMO

BATISTA, Ricardo Breno Barbosa. Sequência didática sobre o efeito fotovoltaico: Potencial solarimétrico do norte de Minas Gerais como oportunidade de consolidação de conceitos. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Física na Educação Básica) – Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura, Colégio Pedro II, Rio de Janeiro, 2025.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma sequência didática voltada ao ensino do efeito fotovoltaico no Ensino Médio, integrando conceitos da Física com a realidade socioambiental do Norte de Minas Gerais. A proposta busca promover a compreensão dos fundamentos do efeito fotovoltaico, diferenciando-o do efeito fotoelétrico, e destacar o potencial solarimétrico da região como um recurso estratégico para a transição energética e a sustentabilidade. A metodologia adotada segue os princípios da abordagem investigativa e contextualizada, com atividades que estimulam a reflexão crítica e o protagonismo dos estudantes. O estudo também visa contribuir para a formação de uma consciência energética entre os alunos, aproximando o conteúdo científico das vivências locais. Espera-se que este material possa servir como subsídio para professores de Física interessados em integrar conteúdos científicos com a realidade regional, despertando nos alunos o interesse por temas ligados à ciência, tecnologia e sustentabilidade.

Palavras-chave: Ensino de Física; Energia solar; Efeito fotovoltaico; Sequência didática.

ABSTRACT

BATISTA, Ricardo Breno Barbosa. Sequência didática sobre o efeito fotovoltaico: Potencial solarimétrico do norte de Minas Gerais como oportunidade de consolidação de conceitos. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Física na Educação Básica) – Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura, Colégio Pedro II, Rio de Janeiro, 2025.

This paper presents the development of a teaching sequence aimed at teaching the photovoltaic effect in high school, integrating concepts from Physics with the socio-environmental reality of Northern Minas Gerais. The proposal seeks to promote understanding of the fundamentals of the photovoltaic effect, differentiating it from the photoelectric effect, and highlight the region's solarimetric potential as a strategic resource for energy transition and sustainability. The methodology adopted follows the principles of an investigative and contextualized approach, with activities that encourage critical reflection and student engagement. The study also aims to contribute to the formation of energy awareness among students, bringing scientific content closer to local experiences. It is hoped that this material can serve as a support for Physics teachers interested in integrating scientific content with regional context awakening students' interest in topics related to science, technology and sustainability.

Keywords: Physics Teaching; Solar Energy; Photovoltaic Effect; Didactic Sequence.

LISTA DE FIGURAS (ILUSTRAÇÕES)

Figura 1: Exemplificação do Efeito Fotoelétrico	32
Figura 2: Como uma célula fotovoltaica funciona	34
Figura 3: Estrutura de bandas de metais, semicondutores e isolantes.	35
Figura 4: Esquema do diagrama de bandas de energia de um semicondutor intrínseco com o Si.....	35
Figura 5: Esquema do diagrama de bandas de um semicondutor	36
Figura 6: Complexo Solar Janaúba – Janaúba/MG	43
Figura 7: Usina solar Sol de Jaíba – Jaíba/MG.....	44
Figura 8: Usina solar Sol do Cerrado – Jaíba/MG	45

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Hipsométrico (metros) do estado de Minas Gerais	37
Mapa 2: Média anual de radiação solar para o estado de Minas Gerais. As regiões com maiores médias são o Norte e o Noroeste de Minas	38
Mapa 3: Precipitação (mm) média sazonal e anual em Minas Gerais no período de 1998 a 2012	39
Mapa 4: Temperatura máxima média anual em Minas Gerais	41
Mapa 5: Temperatura mínima média anual em Minas Gerais	41
Mapa 6: Regiões promissoras de Minas Gerais segundo intersecções de irradiação solar direta diária, declividade e linhas de transmissão.	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	PROBLEMA A SER RESPONDIDO	17
4	JUSTIFICATIVA.....	19
5	METODOLOGIA.....	21
5.1	Tipo de estudo	21
5.2	Público-alvo	21
5.3	Descrição da intervenção	21
5.4	Resultados esperados	22
6	REFERÊNCIAL TEÓRICO	24
6.1	Sequência didática	24
6.2	Ensino de física e metodologias ativas.....	27
6.3	Efeito fotoelétrico	29
6.4	Efeito fotovoltaico	32
6.4.1	Como uma célula fotovoltaica funciona?	33
6.4.2	Teoria de bandas	33
6.5	Potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais	35
6.5.1	Barreira às frentes frias	35
6.5.2	Implicações para a Energia Solar	36
6.5.3	Parques solares do Norte de Minas Gerais.	41
7	CONCLUSÃO	45
8	REFERÊNCIAS.....	46
	APÊNDICE A - APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO INICIAL DO TIPO LIKERT PARA DIAGNÓSTICO DOS CONHECIMENTO DOS ALUNOS.....	52
	APÊNDICE B - DEBATE: EFEITO FOTOVOLTAICO E POTENCIAL SOLAR DO NORTE DE MINAS GERAIS.....	56
	APÊNDICE C - DIFERENÇA ENTRE O EFEITO FOTOELÉTRICO E O EFEITO FOTOVOLTAICO. (COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS EFEITOS, EXPLICAÇÃO TÉORICA E EXEMPLOS PRÁTICOS.	62
	APÊNDICE D - EFEITO FOTOVOLTAICO: FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS SOLARES E A FÍSICA DOS SEMICONDUTORES.....	66
	APÊNDICE E - O POTENCIAL SOLARIMÉTRICO DO NORTE DE MINAS GERAIS	78
	APÊNDICE F - APRESENTAÇÃO DE UMA MINI PLACA FOTOVOLTAICA.....	85
	APÊNDICE G - REAPLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO LIKERT E DISCUSSÃO FINAL	88

1 INTRODUÇÃO

Pode-se definir o processo de ensino-aprendizagem como uma rede complexa de interações do comportamento entre professores e alunos (Kubo, Botomé, 2001). Neste sentido, a interação formada entre os eixos do ensino e da aprendizagem dá-se por meio da escolha, elaboração, organização e sistematização didática dos conteúdos com o objetivo de facilitar o aprendizado dos estudantes, levando em consideração que a educação possui grande destaque no desenvolvimento comportamental e agrega diversos valores aos indivíduos (Brait, 2010).

A relação entre professor e alunos não deve ter como centro apenas o conhecimento obtido através da absorção de informações, devendo ser focada também no processo de construção da consciência cidadã dos estudantes. Para que isso ocorra de maneira efetiva, o docente deve estar disposto a se abrir para novas experiências, entender a realidade dos alunos e demonstrar empatia aos sentimentos e desafios enfrentados pelos discentes sob sua tutela, objetivando “falar a mesma língua dos alunos” (Brait, 2010).

De forma concreta, a construção do conhecimento não se dá de maneira individual. Ela é resultado das atividades e relações entre os indivíduos, sendo assim, o professor tem o papel primordial de agir como intermediário entre os conteúdos transmitidos e os passos tomados para que eles sejam assimilados (Brait, 2010).

Levando isso em consideração, é fundamental reconhecer que o processo de ensino-aprendizagem pode se tornar mais significativo e prazeroso quando o aluno se sente parte integrante das etapas pedagógicas e motivacionais desenvolvidas em sala de aula. Segundo Brait (2010), o professor tem a desafiadora missão de despertar a curiosidade e o interesse dos estudantes pelo saber, promovendo o envolvimento deles na construção do conhecimento. As autoras destacam que, para muitos alunos, o aprendizado não é espontaneamente percebido como algo prazeroso, mas como uma obrigação. Por isso, cabe ao professor criar estratégias que valorizem a participação ativa dos discentes e estimulem o aprimoramento contínuo dos conhecimentos já adquiridos, tornando o processo educacional mais envolvente e menos impositivo.

Comparando o exposto com a realidade de muitas salas de aula, observa-se que o ensino de Física ainda é frequentemente marcado por uma abordagem tradicional, centrada na exposição de conceitos, fórmulas e leis de forma

descontextualizada, muitas vezes voltada apenas à preparação para avaliações e vestibulares. Essa forma de ensino, segundo Bonfim, Costa e Nascimento (2020), aproxima-se de um modelo de apostilamento, em que a ciência é apresentada como um corpo pronto e acabado de conhecimentos, distanciando-se das experiências e da realidade dos alunos. Tal constatação também é discutida por Moreira (2019), que alerta para os riscos de um ensino baseado exclusivamente na transmissão de conteúdo, sem espaço para a problematização e construção ativa do conhecimento por parte dos estudantes. Nessa mesma perspectiva, Hodson (2014) defende a necessidade de superar o ensino meramente formalista, propondo práticas pedagógicas que envolvam os alunos em investigações significativas e contextualizadas, aproximando a ciência escolar da ciência vivida.

A busca por fontes de energia renováveis tem se intensificando nas últimas décadas, impulsionada pela necessidade de reduzir impactos ambientais e pela crescente demanda energética. Nesse contexto, a energia solar se destaca como uma alternativa promissora, sendo convertida em eletricidade principalmente pelo efeito fotovoltaico. Contudo, muitas vezes há uma confusão conceitual entre o efeito fotovoltaico e o efeito fotoelétrico, apesar de ambos envolverem a interação da luz com a matéria, apresentam diferenças fundamentais em seus princípios e aplicações.

O efeito fotovoltaico, base do funcionamento das células solares, permite a conversão direta da energia luminosa em energia elétrica sem a necessidade de processos intermediários. Já o efeito fotoelétrico, estudado por Albert Einstein entre outros, refere-se à emissão de elétrons por um material quando exposto à radiação eletromagnética, sendo mais aplicado em sensores e dispositivos eletrônicos. Compreender essas distinções é essencial para uma abordagem mais elucidativa e precisa sobre o uso da energia solar.

No Norte de Minas Gerais, onde a incidência solar é significativa, o potencial para a geração fotovoltaica é elevado. No entanto, a adoção dessa tecnologia ainda enfrenta desafios, como o desconhecimento sobre o funcionamento e as condições necessárias para sua viabilidade. Nesse sentido, este trabalho busca esclarecer os conceitos do efeito fotovoltaico e fotoelétrico, além de analisar o potencial solarimétrico da região, promovendo a conscientização energética entre estudantes do Ensino Médio.

Para alcançar esse objetivo, será criada uma sequência didática (SD), visando introduzir os conceitos de maneira progressiva e contextualizada. Essa abordagem

metodológica permitirá aos alunos compreender os fundamentos físicos do efeito fotovoltaico e suas aplicações práticas, além de incentivar a investigação científica e a reflexão sobre o uso sustentável da energia solar na região. Espera-se, que por meio dessa sequência didática, os estudantes possam desenvolver um entendimento mais sólido sobre o tema e sua relevância no cenário energético atual.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma sequência didática sobre o efeito fotovoltaico para estudantes do Ensino Médio, promovendo a consciência energética a partir da análise do potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais.

2.2 Objetivos específicos

- Contextualizar o efeito fotovoltaico dentro do estudo da energia solar, explorando seus princípios físicos e sua aplicação tecnológica;
- Diferenciar o efeito fotovoltaico do efeito fotoelétrico, destacando seus fundamentos teóricos e implicações tecnológicas;
- Investigar o potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais, analisando dados sobre a incidência solar na região e sua viabilidade para a geração de energia elétrica;
- Elaborar uma sequência didática baseada em metodologias ativas, estimulando o aprendizado significativo sobre energia solar e sustentabilidade;
- Promover a conscientização energética, incentivando os alunos a refletirem sobre o uso sustentável da energia elétrica e a viabilidade da energia solar na região.

3 PROBLEMA A SER RESPONDIDO

Esta pesquisa está relacionada à necessidade de uma abordagem mais eficaz e contextualizada para o ensino do efeito fotovoltaico no Ensino Médio, com o objetivo de promover a conscientização energética dos estudantes. Apesar da crescente importância da energia solar como alternativa sustentável, acreditamos que muitos alunos não possuem conhecimento sobre o funcionamento e sua relevância. Além disso, há uma confusão conceitual recorrente entre o efeito fotovoltaico e o efeito fotoelétrico, fenômenos que, embora relacionados à interação da luz com a matéria, possuem fundamentos físicos e aplicações distintas.

O efeito fotovoltaico ocorre em materiais semicondutores como o silício, que permite a conversão direta da energia luminosa em eletricidade, sendo a base das células solares. Já o efeito fotoelétrico, descrito por Albert Einstein, consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica quando exposta à radiação eletromagnética. (Brown, 2015)

Segundo a BNCC (Brasil, 2018), essa diferença raramente é abordada com profundidade no Ensino Médio, o que dificulta a compreensão dos estudantes sobre o funcionamento real da energia solar. Observa-se que no contexto educacional, o ensino de Física muitas vezes se apresenta de forma abstrata e descontextualizada, dificultando a compreensão dos conceitos científicos e sua aplicação prática, como destaca Moreira (2021). No caso específico da energia solar, essa lacuna se torna mais evidente ao considerar que regiões como Norte de Minas Gerais possuem um elevado potencial solarimétrico, mas a população local, incluindo os estudantes, nem sempre tem plena consciência dessa vantagem e de como essa fonte de energia pode ser explorada de maneira eficiente.

Diante desse cenário, esta pesquisa busca responder à seguinte questão: De que maneira a elaboração de uma sequência didática sobre o efeito fotovoltaico pode contribuir para a promoção da consciência energética entre estudantes do Ensino Médio?

A proposta considera, ainda, o potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais e a importância de diferenciar o efeito fotovoltaico do efeito fotoelétrico.

A resolução desse problema exige a criação de uma proposta didática estruturada e inovadora. Essa abordagem deve permitir compreender os fundamentos físicos do efeito fotovoltaico, reconhecer suas distinções em relação ao efeito

fotoelétrico e refletir criticamente sobre a importância da energia solar para a sustentabilidade.

4 JUSTIFICATIVA

A elaboração desta sequência didática se justifica pela necessidade de tornar o ensino de Física mais significativo e conectado à realidade dos estudantes, especialmente no que diz respeito à temática da energia solar. Nesse sentido, conforme destaca Araújo (2013), a sequência didática é uma ferramenta pedagógica que organiza e articula atividades de ensino de forma progressiva, favorecendo a construção do conhecimento e a aprendizagem contextualizada. O efeito fotovoltaico é um conceito fundamental no estudo das fontes renováveis de energia, sendo essencial para a compreensão da geração de eletricidade a partir da luz solar. No entanto, esse tema muitas vezes é abordado de maneira superficial ou fragmentada no Ensino Médio, dificultando a construção de um conhecimento sólido e aplicável. Além disso, observa-se que muitos alunos apresentam dificuldades em diferenciar o efeito fotovoltaico do efeito fotoelétrico, dois fenômenos distintos que, embora relacionados à interação da luz com a matéria, possuem princípios e aplicações diferentes. De acordo com o Portal Solar (2024), o efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto à luz de alta frequência. Já o efeito fotovoltaico ocorre em materiais semicondutores e resulta na geração de corrente elétrica, sendo o princípio básico de funcionamento das células solares. Essa distinção também é abordada por Halliday, Resnick e Walker (2012), ao explicarem que o efeito fotoelétrico envolve a ejeção de elétrons individuais da superfície metálica, enquanto o efeito fotovoltaico envolve a criação de pares elétron-lacuna que são separados por um campo elétrico interno, gerando corrente contínua.

Ademais, a energia solar vem ganhando destaque mundialmente como uma alternativa sustentável e viável à matriz energética tradicional, e a região do Norte de Minas Gerais possui um elevado potencial Solarimétrico. No entanto, a falta de conhecimento sobre essa capacidade local e suas implicações para a economia e o meio ambiente pode resultar na subutilização desse recurso. Dessa forma, uma abordagem didática que envolva esse contexto regional pode favorecer o aprendizado dos estudantes, tornando-o mais próximo da sua realidade e estimulando o pensamento crítico sobre o uso da energia.

Outro fator que justifica a construção dessa sequência didática é a necessidade de metodologias mais dinâmicas e interativas no ensino de Física. De acordo com

Moreira (2021), a aprendizagem significativa se estabelece quando o novo conhecimento é integrado de maneira não arbitrária e substantiva à estrutura cognitiva do aluno, o que exige conexão com experiências prévias e contextos reais. Nessa perspectiva, é fundamental que os conceitos ensinados estejam relacionados a situações concretas do cotidiano dos estudantes. Ao adotar metodologias ativas na sequência didática — como simulações, análise de dados solares da região e atividades investigativas — espera-se favorecer o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem, promovendo um olhar mais reflexivo sobre as questões energéticas e ambientais.

Por fim, esta pesquisa pretende contribuir com a produção de um material didático estruturado que possa servir como referência para professores que desejam abordar o efeito fotovoltaico e a energia solar em suas aulas. Ao disponibilizar uma proposta didática bem fundamentada, espera-se incentivar práticas pedagógicas inovadoras e alinhadas com os desafios contemporâneos da educação e da sustentabilidade energética.

5 METODOLOGIA

5.1 Tipo de estudo

Trata-se de um estudo que envolve a preparação de material didático para o desenvolvimento de algumas aulas, requerendo que os estudantes estejam envolvidos em atividades práticas que promovam a aplicação do conhecimento.

5.2 Público-alvo

Este estudo possui como público-alvo estudantes do Ensino Médio de uma escola pública estadual.

5.3 Descrição da intervenção

Esta pesquisa se caracteriza como um estudo de abordagem qualitativa e exploratória com objetivo de desenvolver uma sequência didática sobre o efeito fotovoltaico, promovendo a conscientização energética a partir do potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais. Além disso, a proposta busca diferenciar o efeito fotovoltaico do efeito fotoelétrico, elucidando suas bases físicas e aplicações tecnológicas, a fim de evitar equívocos conceituais comuns no Ensino Médio.

O estudo será estruturado em três etapas principais. A primeira consistirá em um levantamento teórico, por meio de uma revisão bibliográfica sobre o efeito fotovoltaico, a energia solar e o potencial solarimétrico da região. Nesse momento, também serão exploradas as distinções entre o efeito fotovoltaico e o efeito fotoelétrico, destacando suas implicações para o ensino e para a compreensão da conversão de energia luminosa em eletricidade. Além disso, serão investigadas metodologias ativas aplicáveis ao ensino de Física, especialmente aquelas voltadas para o ensino de conceitos relacionados à energia renovável.

Na segunda etapa, será realizada a elaboração da sequência didática, analisando sua coerência pedagógica, sua adequação ao Ensino Médio e seu potencial para estimular a conscientização energética entre os estudantes. A diferenciação entre os dois efeitos será incorporada à estrutura didática, garantindo que os alunos compreendam com precisão como o efeito fotovoltaico permite a geração de eletricidade, enquanto o efeito fotoelétrico se refere à emissão de elétrons

em materiais metálicos sob incidência luminosa. Essa avaliação será baseada na literatura e nas diretrizes do ensino de Física, permitindo verificar a viabilidade da proposta para futura aplicação em sala de aula.

Na terceira e última etapa, será apresentada a sequência didática finalizada, com sua organização pedagógica detalhada e os materiais de apoio reunidos em anexo, de modo a possibilitar sua aplicação futura por professores da Educação Básica. Nesse momento, será elaborado um infográfico que sintetiza as etapas da proposta, facilitando sua visualização e replicação. A sequência será discutida à luz dos princípios da aprendizagem significativa (Ausubel, 2003; Moreira, 2006) e dos Três Momentos Pedagógicos (Delizoicov; Angotti, 1994), enfatizando como ela pode favorecer a contextualização dos conteúdos físicos, especialmente os relacionados à energia solar e ao efeito fotovoltaico. Espera-se, com isso, oferecer uma proposta didática clara, fundamentada e aplicável, que contribua não apenas para o ensino de conceitos científicos, mas também para o desenvolvimento de uma consciência crítica e energética por parte dos estudantes do Ensino Médio.

A pesquisa, portanto, não prevê a aplicação prática da sequência didática, mas sim sua construção detalhada, de modo a oferecer uma proposta bem estruturada e contextualizada. O objetivo é que ela possa ser utilizada por professores interessados em abordar o tema da energia solar e do efeito fotovoltaico de maneira mais significativa e alinhada às demandas contemporâneas do ensino de Física.

5.4 Resultados esperados

Espera-se que a sequência didática desenvolvida proporcione uma abordagem inovadora e contextualizada sobre o efeito fotovoltaico, promovendo a conscientização energética entre os estudantes do Ensino Médio. A proposta busca contribuir para a construção do conhecimento dos alunos, proporcionando uma melhor compreensão sobre o funcionamento das células fotovoltaicas, os princípios físicos envolvidos e a aplicação dessa tecnologia na geração de energia. Além disso, espera-se que a SD estimule os estudantes a compreenderem a diferença entre o efeito fotovoltaico e o efeito fotoelétrico, evitando equívocos conceituais e fortalecendo a base teórica necessária para a compreensão da conversão de energia luminosa em eletricidade.

Outro resultado esperado é que os alunos possam compreender o potencial

solarimétrico do Norte de Minas Gerais, refletindo sobre a viabilidade da implementação da energia solar em contextos locais. Dessa forma, pretende-se desenvolver o pensamento crítico dos estudantes, levando-os a analisar a relação entre ciência, tecnologia e sociedade no que diz respeito à matriz energética do país e às possibilidades de transição para fontes limpas e sustentáveis. Ao abordar a distinção entre os dois efeitos físicos, a SD também contribuirá para um ensino de Física mais preciso e aprofundado, favorecendo a aplicação dos conceitos em diferentes contextos científicos e tecnológicos. Além disso, espera-se que a estrutura da sequência didática, composta por atividades interativas, experimentais e baseadas em simulações, estimule um aprendizado mais dinâmico e significativo. A proposta busca contribuir para o engajamento dos alunos e para a melhoria do ensino de Física, especialmente em temas relacionados à energia solar.

Por fim, espera-se disponibilizar como produto dessa pesquisa um material didático estruturado e aplicável, que poderá servir como recurso pedagógico para professores interessados em abordar o tema da energia solar e do efeito fotovoltaico em sala de aula. Dessa maneira, espera-se que a pesquisa venha a contribuir para o ensino de Física no Ensino Médio, ao oferecer uma proposta didática que estimule a contextualização e a reflexão crítica sobre o uso da energia solar.

6 REFERÊNCIAL TEÓRICO

6.1 Sequência didática

A construção de uma sequência didática para o ensino do efeito fotovoltaico teve como base teórica a obra de “A Prática Educativa – Como Ensinar”, de Antoni Zabala (Zabala, 1998), que propõe uma perspectiva metodológica voltada para a construção ativa do conhecimento, centrada no protagonismo do estudante. Segundo o autor, o ensino de qualquer conteúdo, para ser realmente significativo, deve partir de situações-problema concretas com as quais os alunos estejam confrontados, especialmente aquelas inseridas em seu cotidiano e em suas realidades socioculturais. Assim, o processo de ensino-aprendizagem torna-se não apenas mais relevantes, mas também mais eficiente, ao estabelecer conexões diretas entre o saber científico e a vivência dos estudantes.

Nesse sentido, a proposta da sequência didática desenvolvida neste trabalho parte de uma temática altamente contextualizada: o potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais. Trata-se de um conteúdo que integra saberes da Física com questões ambientais e sociais, proporcionando aos estudantes uma oportunidade concreta de análise crítica da realidade local. Conforme Zabala defende, trabalhar a partir de conteúdos contextualizados e socialmente relevantes contribui para o desenvolvimento de competências cognitivas, atitudinais e procedimentais, que são pilares da aprendizagem significativa.

Além disso, a abordagem pedagógica adotada também se ancora nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1980), que considera fundamental a existência de conhecimentos prévios para que novos conteúdos possam ser assimilados de forma não arbitrária e não mecânica. Ao aplicar questionários diagnósticos no início da sequência, procura-se identificar tais conhecimentos prévios, permitindo um planejamento mais assertivo das atividades seguintes. Essa prática também encontra respaldo em Zabala, que ressalta a importância do diagnóstico inicial para garantir o alinhamento dos conteúdos à realidade e às necessidades dos estudantes.

Outro autor que contribui para a fundamentação da sequência didática é Philippe Perrenoud (1999), ao enfatizar a necessidade de formar cidadãos capazes de resolver problemas complexos e agir com autonomia em diferentes contextos. Para tanto, o ensino deve ser pautado em competências e habilidades que favoreçam a

reflexão, a análise crítica e a tomada de decisões. A proposta de analisar dados reais sobre radiação solar, discutir a viabilidade da energia solar na região e construir conhecimentos sobre o efeito fotovoltaico está em consonância com essa perspectiva, uma vez que desafia os alunos a compreender a realidade local e pensar em soluções sustentáveis.

Outro elemento central na construção desta sequência didática é o uso dos Três Momentos Pedagógicos, propostos por Delizoicov e Angotti (1994). Essa metodologia é estruturada em três fases: a problematização inicial, a organização do conhecimento e a aplicação do saber. Essa estrutura permite uma abordagem crítica e investigativa do ensino de Ciências, incentivando o desenvolvimento da autonomia intelectual dos alunos. No caso dessa sequência, a problematização foi introduzida por meio da aplicação de um questionário de diagnóstico, seguida pela organização do conhecimento com atividades de análise conceitual e experimentação, e por fim, a aplicação do saber com apresentações e debates baseados nas pesquisas realizadas.

Por fim, esta proposta dialoga com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018), especialmente no que se refere ao desenvolvimento das competências gerais da Educação Básica, como o pensamento científico, crítico e criativo; o protagonismo; e a responsabilidade com o meio ambiente. No componente curricular de Física, espera-se que o estudante compreenda fenômenos naturais, tecnológicos e suas implicações sociais, econômicas e ambientais. Nesse contexto, o estudo do efeito fotovoltaico e do potencial solarimétrico regional constitui uma excelente oportunidade para integrar tais competências de forma interdisciplinar, crítica e contextualizada.

Tabela 1 – Cronograma da SD

ENCONTRO	ATIVIDADE	RECURSO	MOMENTO DA SD
1º aula/ 50 minutos	Aplicação do questionário inicial do tipo likert para diagnóstico do conhecimento dos alunos.	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro branco, marcadores, • Questionários impressos com a escala likert. 	1º momento
2º aula/ 50 minutos	Debate: efeito fotovoltaico e potencial solar do Norte de Minas Gerais.	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro branco e marcadores. • Projetor multimídia (Slides com imagens de painéis solares, mapas de 	1º momento

		radiação solar do Norte de Minas).	
3º aula/ 50 minutos	Diferença entre o efeito fotoelétrico e o efeito Fotovoltaico. Comparação entre os dois efeitos, explicação teórica e exemplos práticos.	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro branco e marcadores; • Projetor multimídia (Slides ilustrativos com vídeos curtos demonstrativos). 	2º momento
4º aula/ 50 minutos	Efeito fotovoltaico: funcionamento das células solares e a física dos semicondutores.	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro branco e marcadores. • Projetor multimídia (Slides ilustrativos com diagramas das bandas de energia e da célula solar, imagem ampliada de célula fotovoltaica), vídeos curtos demonstrativos. 	2º momento
5º aula/ 50 minutos	O potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais.	<ul style="list-style-type: none"> • Projetor multimídia (Imagens e gráficos de mapas solares do INPE, Atlas solarimétrico). • Quadro branco e marcadores. 	2º momento
6º aula/ 50 minutos	Aula prática: apresentação de uma mini placa Fotovoltaica.	<ul style="list-style-type: none"> • Mini painel solar fotovoltaico; • Multímetro (para medir tensão e corrente gerada). • Pequenos motores DC ou LEDs (para mostrar o acionamento com energia solar). • Papel, lápis e régua (para anotações e montagem de esboços). • Quadro branco para explicações. • Celular com sensor de luz (opcional, para medir intensidade luminosa). 	3º momento
7º aula/ 50 minutos	Reaplicação do questionário likert e discussão final.	<ul style="list-style-type: none"> • Cópias impressas do mesmo questionário Likert aplicado na Aula 01. • Quadro branco e marcadores. • Computador e projetor 	3º momento

		(opcional, para comparar resultados).	
--	--	---------------------------------------	--

Fonte: Autor (2025).

6.2 Ensino de física e metodologias ativas

O ensino de Física no Ensino Médio enfrenta desafios relacionados à abstração dos conceitos e à falta de conexão com o cotidiano dos estudantes. Segundo Moreira (2021), a aprendizagem significativa exige que o conhecimento novo se relacione com aquilo que o aluno já sabe, o que não ocorre quando os conteúdos são apresentados de forma descontextualizada. Borges (2002) também aponta que a desarticulação entre os conceitos físicos e a realidade dos alunos contribui para a desmotivação e para a dificuldade de aprendizagem. Muitas vezes, a disciplina é ministrada de forma tradicional, com aulas expositivas e resolução mecânica de exercícios, o que pode resultar em uma aprendizagem superficial e desmotivadora (Delizoicov; Angotti, 1994; Moreira, 2011). Para superar essas dificuldades, metodologias ativas vêm sendo amplamente discutidas na literatura educacional como ferramentas eficazes para promover uma aprendizagem mais significativa e engajadora.

David Ausubel (2003), ao apresentar sua teoria da aprendizagem significativa, destaca que a construção do conhecimento ocorre de forma mais eficiente quando os novos conteúdos se conectam de maneira não arbitrária e substantiva à estrutura cognitiva pré-existente do aluno. Para ele, “o fator mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe. Descubra isso e ensine-o de acordo” (Ausubel *et al.*, 2003, p. 15). Para que isso aconteça, é necessário que o ensino parta de conhecimentos prévios e relacione os conteúdos à realidade dos estudantes. Esse princípio dialoga diretamente com Antoni Zabala (1998), que destaca a importância das sequências didáticas como estratégias organizadoras do ensino. Segundo Zabala, uma sequência didática bem planejada deve estruturar progressivamente os conteúdos, permitindo que os estudantes desenvolvam o pensamento crítico e compreendam os conceitos científicos de forma contextualizada.

Além disso, a sequência didática proposta fundamenta-se em abordagens contemporâneas do ensino de Física, priorizando a aprendizagem significativa, conforme proposto por David Ausubel e aprofundado por Marcos Antônio Moreira (2006). Segundo Ausubel, “a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova

informação se relaciona, de maneira substantiva e não arbitrária, com aquilo que o aluno já sabe” (Ausubel; Novak; Hanesian, 2003, p. 47).

Moreira (2006, p. 2) destaca que a aprendizagem significativa envolve uma relação substancial entre o que o aluno já sabe e o novo conteúdo a ser aprendido. Segundo o autor:

A aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não literal e não arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva. (Moreira, 2006, p. 2)

Dessa forma, para que os estudantes compreendam os conceitos de efeito fotovoltaico e efeito fotoelétrico, é essencial partir de suas experiências cotidianas e dos contextos locais — como o potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais — a fim de favorecer a construção ativa e contextualizada do conhecimento.

Outro aspecto fundamental para a construção da sequência didática é a teoria do desenvolvimento de Vygotsky (2001), que enfatiza a aprendizagem como um processo social e mediado. De acordo com Vygotsky, o conhecimento não é adquirido isoladamente, mas sim por meio da interação com o meio e com outras pessoas. O conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) reforça a importância do papel do professor e dos colegas mais experientes no processo de ensino-aprendizagem. No ensino de Física, essa teoria justifica a adoção de metodologias que estimulem o trabalho colaborativo, como debates, discussões em grupo e atividades experimentais, favorecendo a troca de conhecimento e a construção coletiva do saber.

Além disso, as metodologias ativas, como a aprendizagem baseada em problemas (ABP) e o Ensino por Investigação têm sido amplamente estudados e aplicados como abordagens eficazes para tornar o ensino de física mais dinâmico, interativo e contextualizado. Segundo Silva et al. (2019), essas metodologias favorecem a construção ativa do conhecimento e estimulam habilidades como a resolução de problemas, o pensamento crítico e a autonomia dos estudantes. No caso do efeito fotovoltaico, a aplicação dessas metodologias pode permitir que os alunos compreendam melhor o funcionamento das células fotovoltaicas ao analisarem dados solares reais, realizarem simulações computacionais e discutirem alternativas para a implementação da energia solar em sua comunidade.

Nesse sentido, a sequência didática proposta baseia-se em princípios da

aprendizagem significativa e da construção ativa do conhecimento, conforme defendido por Jean Piaget (1972). De acordo com Piaget, o desenvolvimento cognitivo ocorre em estágios e se dá por meio de processos de assimilação e acomodação, levando à formação de novos esquemas mentais. No contexto do ensino de Física, e mais especificamente no aprendizado sobre energia solar e efeito fotovoltaico, a abordagem piagetiana sugere que os alunos não devem ser meros receptores de informações, mas sim protagonistas ativos na construção do conhecimento. Assim, a sequência didática foi estruturada para estimular a interação dos estudantes com conceitos científicos por meio de situações problema, experimentação e análise de dados reais do potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais.

Piaget também destaca a importância do conflito cognitivo, que ocorre quando o aluno se depara com uma nova informação que desafia seus esquemas mentais anteriores. Ao explorar conceitos como efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico, a sequência didática pretende provocar esse tipo de reflexão, levando os alunos a reconstruírem suas concepções iniciais e consolidarem um entendimento mais sólido sobre o tema.

Dessa forma, a sequência didática proposta será fundamentada nesses princípios teóricos, buscando aproximar os conceitos de Física da realidade dos alunos, promover o protagonismo estudantil no processo de aprendizagem e incentivar reflexões críticas sobre o uso sustentável da energia. Ao estruturar o ensino de forma contextualizada, interativa e investigativa, espera-se que os estudantes desenvolvam uma compreensão mais profunda e significativa do efeito fotovoltaico e de sua importância para a sociedade contemporânea.

6.3 Efeito fotoelétrico

No ensino de Física, fazer uso da sequência didática estimula uma atitude crítica por parte dos alunos, o que dá origem a uma mudança do ambiente onde ocorrem o ensino e a aprendizagem, garantindo a troca de experiências e o uso do diálogo, o que traz uma aproximação do conhecimento científico com a realidade cotidiana. Num cenário onde o ensino de Física anseia por mudanças, inovações metodológicas e novos paradigmas podem ser o caminho necessário para que a tão esperada atualização do ensino ocorra (Albuquerque, Santos, Ferreira, 2015; Bonfim, Nascimento, 2018).

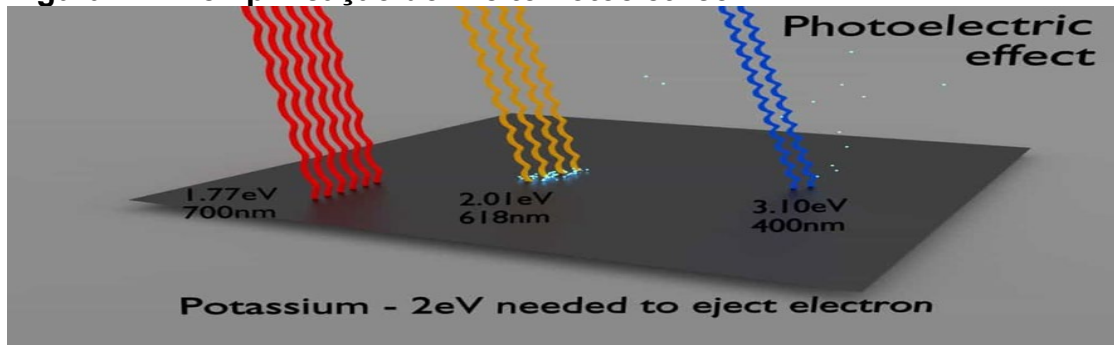
Embora relacionados à interação entre luz e matéria, o efeito fotovoltaico e o efeito fotoelétrico são fenômenos distintos, tanto em seus mecanismos quanto em suas aplicações. O efeito fotoelétrico, descrito por Albert Einstein em 1905 e que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1921, ocorre quando a radiação eletromagnética incide sobre a superfície de um metal, provocando a ejeção de elétrons do material. Diferentemente do efeito fotovoltaico, o fotoelétrico depende da frequência da luz incidente e não de sua intensidade, evidenciando o comportamento quântico da luz. Nesse processo, não há produção direta de corrente elétrica utilizável, mas sim a liberação de elétrons que podem ser captados em dispositivos específicos, como células fotoelétricas (Giancoli, 2011; Tipler; Mosca, 2011).

Já no efeito fotovoltaico, a luz incidente sobre um material semicondutor, como o silício, excita elétrons, criando pares elétron-lacuna. Em presença de um campo elétrico interno, como o existente na junção p-n de uma célula solar, esses portadores de carga são separados, gerando uma corrente elétrica contínua que pode ser utilizada externamente (Brito *et al.*, 2017; Gonçalves; Stamato, 2009).

Portanto, enquanto o efeito fotoelétrico fornece evidências fundamentais da física moderna, o efeito fotovoltaico é amplamente explorado para fins energéticos, sendo a base de funcionamento dos sistemas de energia solar utilizados atualmente em larga escala.

Em 1905, o físico Albert Einstein utilizou a teoria do também físico Max Planck para explicar o efeito fotoelétrico. A teoria proposta por Planck diz que a energia só pode ser liberada ou absorvida pelos átomos apenas em “pedaços” discretos de determinado tamanho mínimo – batizados por ele de quantum. A luz incidente numa superfície metálica límpida causa a emissão de elétrons da superfície. Uma frequência mínima de luz, que é diferente para cada metal, é requerida para que haja a emissão de elétrons (Figura 1).

Figura 1 - Exemplificação do Efeito Fotoelétrico



Fonte: <https://images.app.goo.gl/Tbgzdj4aE72oSrP9A>

A luz vermelha não tem frequência suficiente para ejetar elétrons. A luz verde consegue realizar a ejeção de elétrons, mesmo que ela esteja fraca. Por fim, a luz azul pode deslocar mais elétrons do que a luz verde, pois possui maior frequência, mesmo estando bem fraca.

Para explicar o efeito fotoelétrico, Einstein assumiu que a energia radiante que incide sobre a superfície do metal comporta-se como um pequeno fluxo de pequenos pacotes de energia. Cada pacote, que é como se fosse uma “partícula” de energia, é chamado de fóton. Estendendo a teoria quântica de Planck, Einstein deduziu que cada fóton deve ter uma energia igual à constante de Planck vezes a frequência da luz, dando origem à seguinte equação: Energia do fóton = $E = h\nu$ (Brown *et al.*, 2015)

Sob certas condições, os fótons incidentes numa superfície metálica podem transferir sua energia para os elétrons do metal. Uma certa quantidade de energia – chamada de função trabalho (Φ) – é necessária para que os elétrons superem as forças atrativas que os mantêm fixos ao metal. Caso os fótons que incidam sobre o metal tenham menos energia que a função trabalho, os elétrons não adquirem energia suficiente para escapar do metal, mesmo se o feixe de luz for intenso. Contudo, caso os fótons tenham mais energia que a função trabalho do metal, ocorre a emissão de elétrons. Toda a energia excedente do fóton é convertida em energia cinética para o elétron emitido. A intensidade (luminosidade) da luz está relacionada com o número de fótons que incidem sob a superfície por unidade de tempo, mas não à energia de cada fóton. Esta explicação, elaborada por Albert Einstein para o efeito fotoelétrico lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1921 (Brown *et al.*, 2015; Oxtoby, Gillis, Companion, 2012).

Afirmar que a luz possui partículas que podem deslocar elétrons vai de encontro à clássica representação em ondas da luz, que havia sido confirmada experimentalmente. Como a luz pode ser tanto uma onda e uma partícula?

Esses paradoxos podem ser resolvidos pela mecânica quântica. Nessa conjuntura, a clássica descrição da luz como onda é adequada para explicar fenômenos como interferência e difração, mas a emissão e absorção de luz pela matéria podem ser explicadas visualização dos fótons como partícula. O pensamento quântico se distingue do clássico pelo seguinte motivo: nele, não se pergunta “O que é a luz?”, mas sim “Como a luz se comporta sob condições experimentais específicas?” Sendo assim, a dualidade onda-partícula não é uma contradição, mas parte fundamental da natureza fundamental da luz e também da matéria (Oxtoby, Gillis, Companion, 2012).

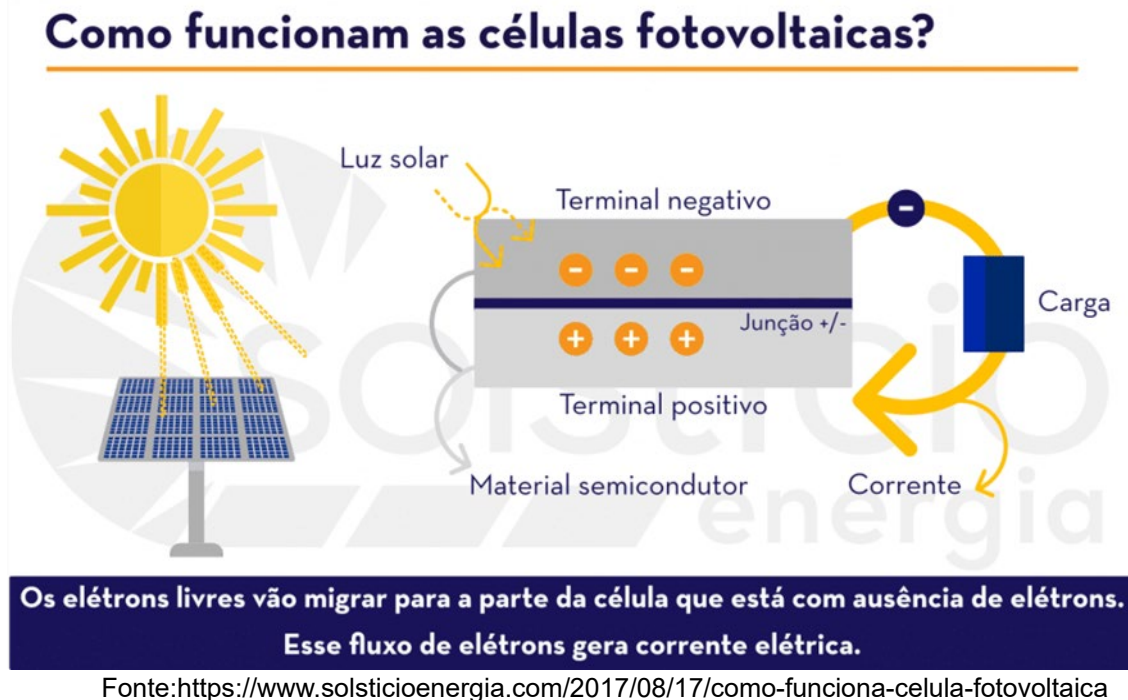
6.4 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é o fenômeno físico responsável pela conversão direta da luz solar em eletricidade, sendo a base de funcionamento das células solares. Esse processo ocorre quando a radiação solar incide sobre materiais semicondutores, como o silício, promovendo a absorção de fótons que fornecem energia suficiente para excitar elétrons da banda de valência para a banda de condução do material. Essa movimentação gera pares elétron-lacuna e, com a presença de um campo elétrico interno na junção tipo p-n da célula fotovoltaica, os elétrons são direcionados, resultando na geração de corrente elétrica contínua (Brito *et al.*, 2017; Gonçalves; Stamato, 2009).

O fenômeno foi observado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, que verificou o surgimento de uma corrente elétrica ao expor eletrodos metálicos à luz em uma solução condutora (Gonçalves; Stamato, 2009). A partir das descobertas posteriores e do avanço tecnológico no desenvolvimento de semicondutores, o efeito fotovoltaico passou a ser explorado de forma prática para a geração de energia elétrica, destacando-se por ser uma fonte limpa, silenciosa e renovável, com grande potencial de contribuição para a matriz energética mundial (Brito *et al.*, 2017).

6.4.1 Como uma célula fotovoltaica funciona?

Figura 2 - Como uma célula fotovoltaica funciona?



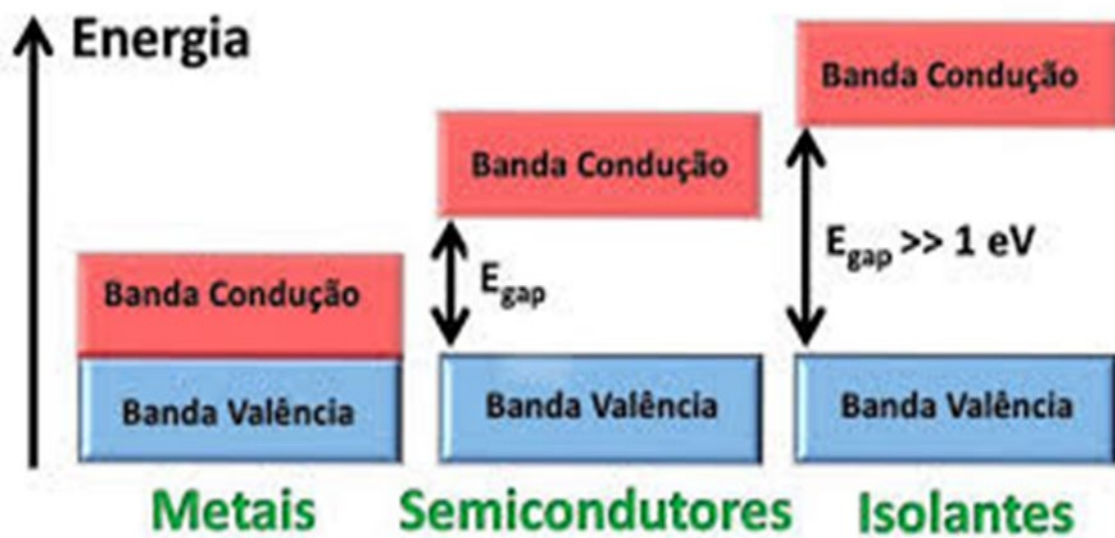
6.4.2 Teoria de bandas

A teoria de bandas é um modelo da física do estado sólido que descreve os níveis de energia disponíveis para os elétrons em um material. Em termos gerais, ela divide os estados eletrônicos em duas regiões principais: a banda de valência, onde estão os elétrons ligados aos átomos, e a banda de condução, onde os elétrons são livres para se mover pelo material e, portanto, conduzir corrente elétrica. Entre essas bandas existe uma região chamada gap de energia (ou band gap), que representa a energia mínima necessária para que um elétron passe da banda de valência para a banda de condução (Tipler; Mosca, 2011).

Nos materiais semicondutores, como o silício, esse gap de energia é suficientemente pequeno para que os elétrons possam ser excitados por fótons da luz solar. Quando um fóton com energia igual ou superior ao gap de energia atinge o semicondutor, ele pode transferir sua energia a um elétron da banda de valência, promovendo-o à banda de condução e criando um par elétron-lacuna. O campo elétrico interno presente na junção p-n da célula solar separa essas cargas e as direciona aos contatos externos, gerando uma corrente elétrica (Brito *et al.*, 2017; Gonçalves; Stamato, 2009).

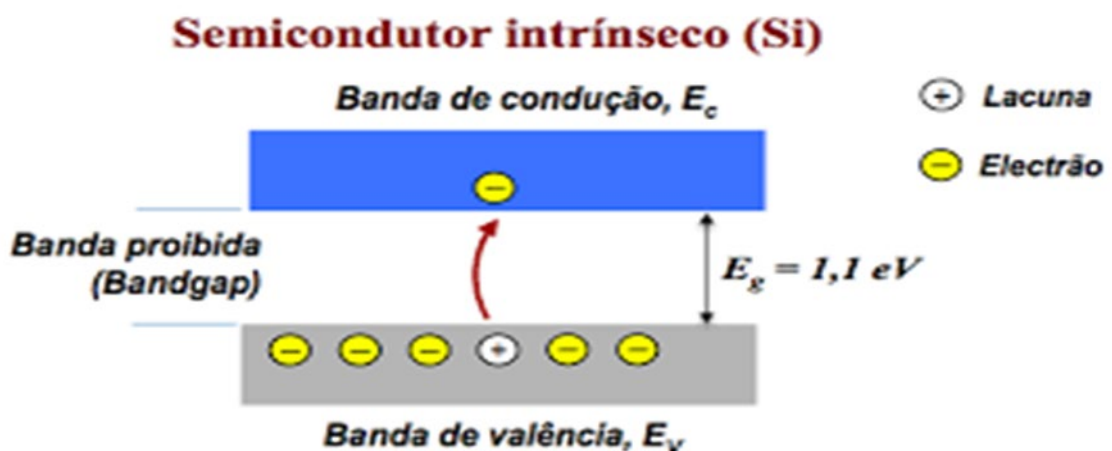
A eficiência de uma célula fotovoltaica depende diretamente da largura do gap de energia do material utilizado. Materiais com gap muito pequeno podem gerar corrente, mas têm perdas por recombinação, enquanto aqueles com gap muito grande não aproveitam a maior parte do espectro solar. Por isso, o silício, com um gap de energia de aproximadamente 1,1 eV, se mostra ideal para aplicações fotovoltaicas (Giancoli, 2011).

Figura 3 - Estrutura de bandas de metais, semicondutores e isolantes.



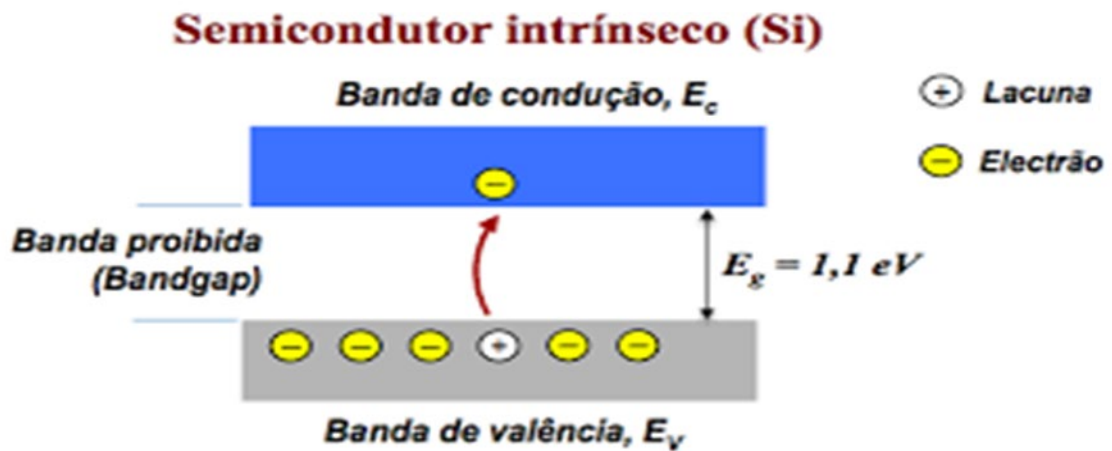
Fonte: <https://images.app.goo.gl/73ihCZWcVwzNnxiG8>

Figura 4 - Esquema do diagrama de bandas de energia de um semicondutor intrínseco com o Si.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/TiwbPLvwSM2sg9d68>

Figura 5 - Esquema do diagrama de bandas de energia de um semicondutor intrínseco com o Si.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/TiwbPLvwSM2sg9d68>

6.5 Potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais

Segundo o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais (Oliveira; Horta; Silva, 2016), a região Norte do Estado é a que possui maior potencial de aproveitamento da energia solar, apresentando a maior média de kwh das mesorregiões do Estado, com base nos cálculos e simulações realizados pelos autores do Atlas, demonstrando que a área é de grande interesse para a utilização de energia fotovoltaica. Também é ressaltado pelos autores que cidades como Jaíba e Janaúba, ambas localizadas no Norte de Minas Gerais, possuem valores médios energéticos próximos aos melhores valores vistos no país, por exemplo, nas cidades de Caetité (BA), Petrolina (PE) e Tauá (CE).

Um dos fatores geográficos que contribuem para essas condições é a presença da Serra do Espinhaço, uma cadeia montanhosa que se estende pelo estado de Minas Gerais até a Bahia. Com altitudes que podem ultrapassar 2.000 metros, essa formação atua como uma barreira orográfica, influenciando diretamente o clima da região.

6.5.1 Barreira às frentes frias

A Serra do Espinhaço interfere na dinâmica atmosférica ao dificultar a penetração de frentes frias provenientes do Oceano Atlântico para o interior do estado. Essas frentes, ao encontrarem a barreira montanhosa, perdem força e umidade,

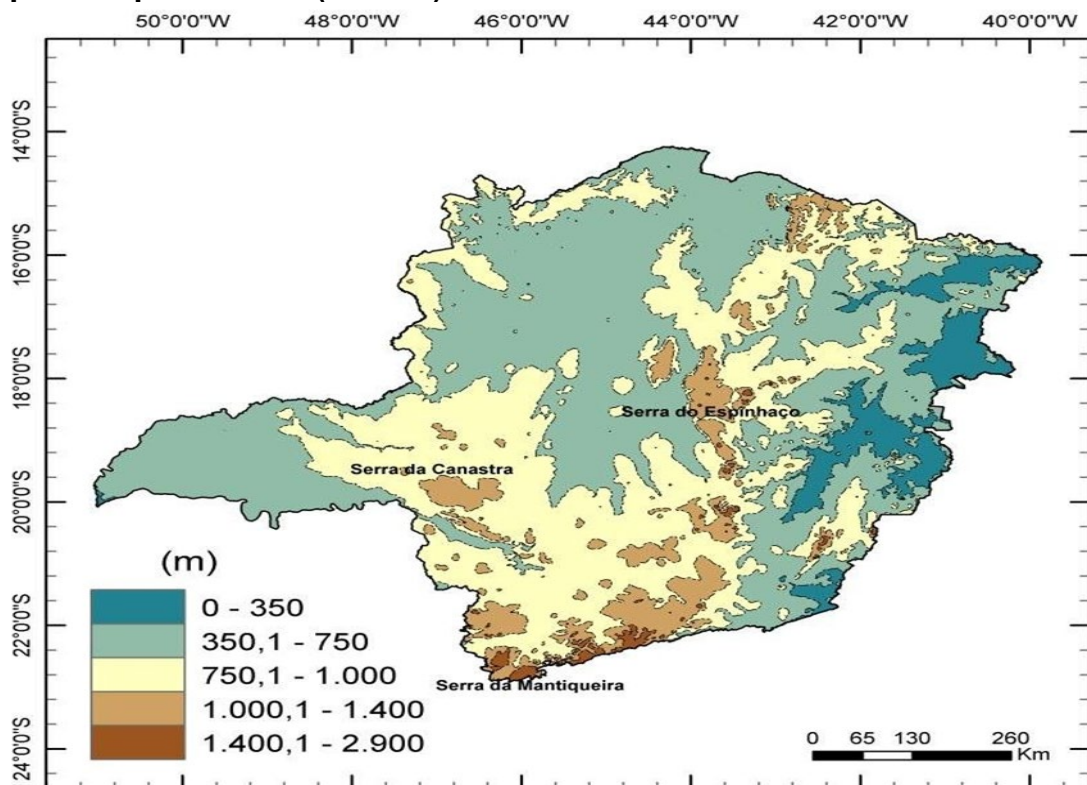
resultando em menor incidência de chuvas e manutenção de temperaturas elevadas no norte mineiro.

Essa configuração climática, caracterizada por longos períodos de estiagem e alta insolação, favorece a implementação de sistemas de energia solar, tornando a região propícia para investimentos no setor fotovoltaico.

6.5.2 Implicações para a Energia Solar

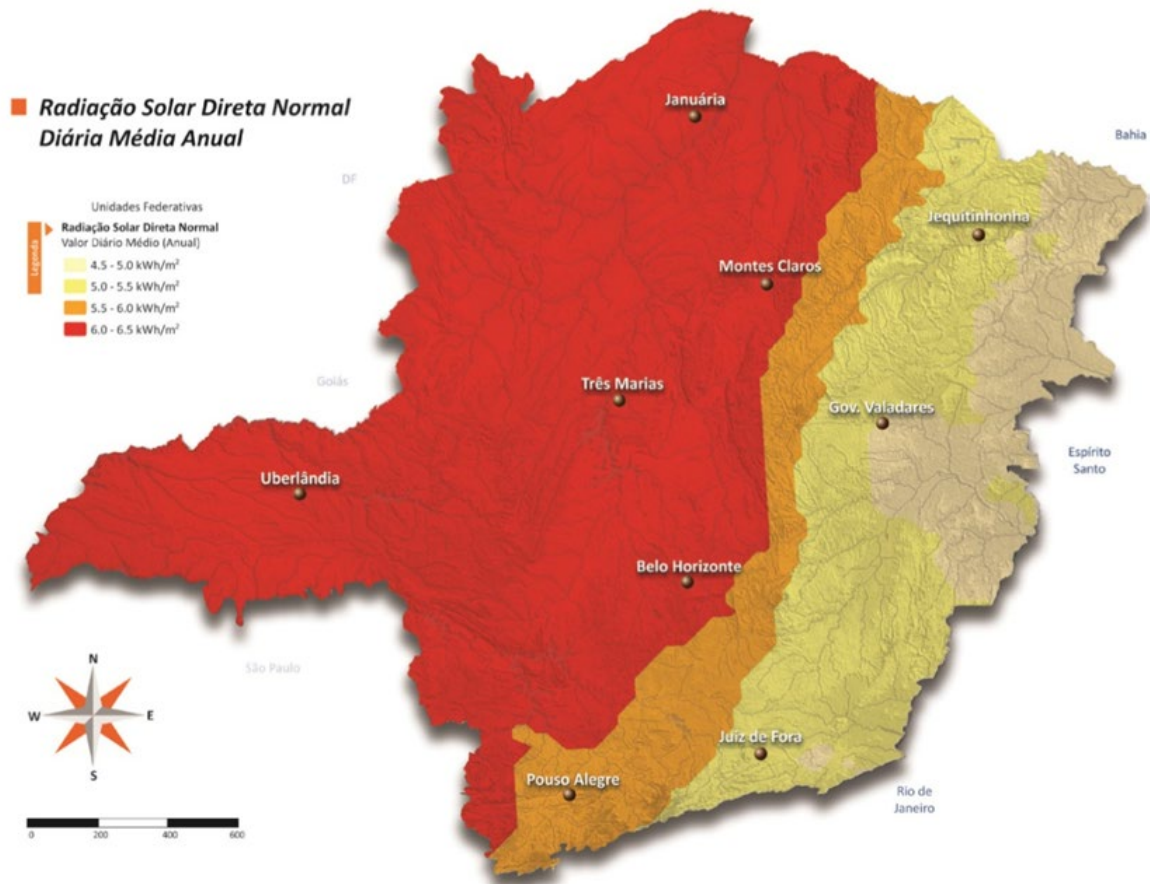
A combinação de alta radiação solar e baixa nebulosidade proporciona condições ideais para a geração de energia solar no Norte de Minas Gerais. Além disso, a topografia relativamente plana em diversas áreas facilita a instalação de parques solares em larga escala. Essas características posicionam a região como estratégica para o desenvolvimento de projetos de energia renovável, contribuindo para a diversificação da matriz energética e o desenvolvimento socioeconômico local.

Mapa 1 - Hipsométrico (metros) do estado de Minas Gerais.



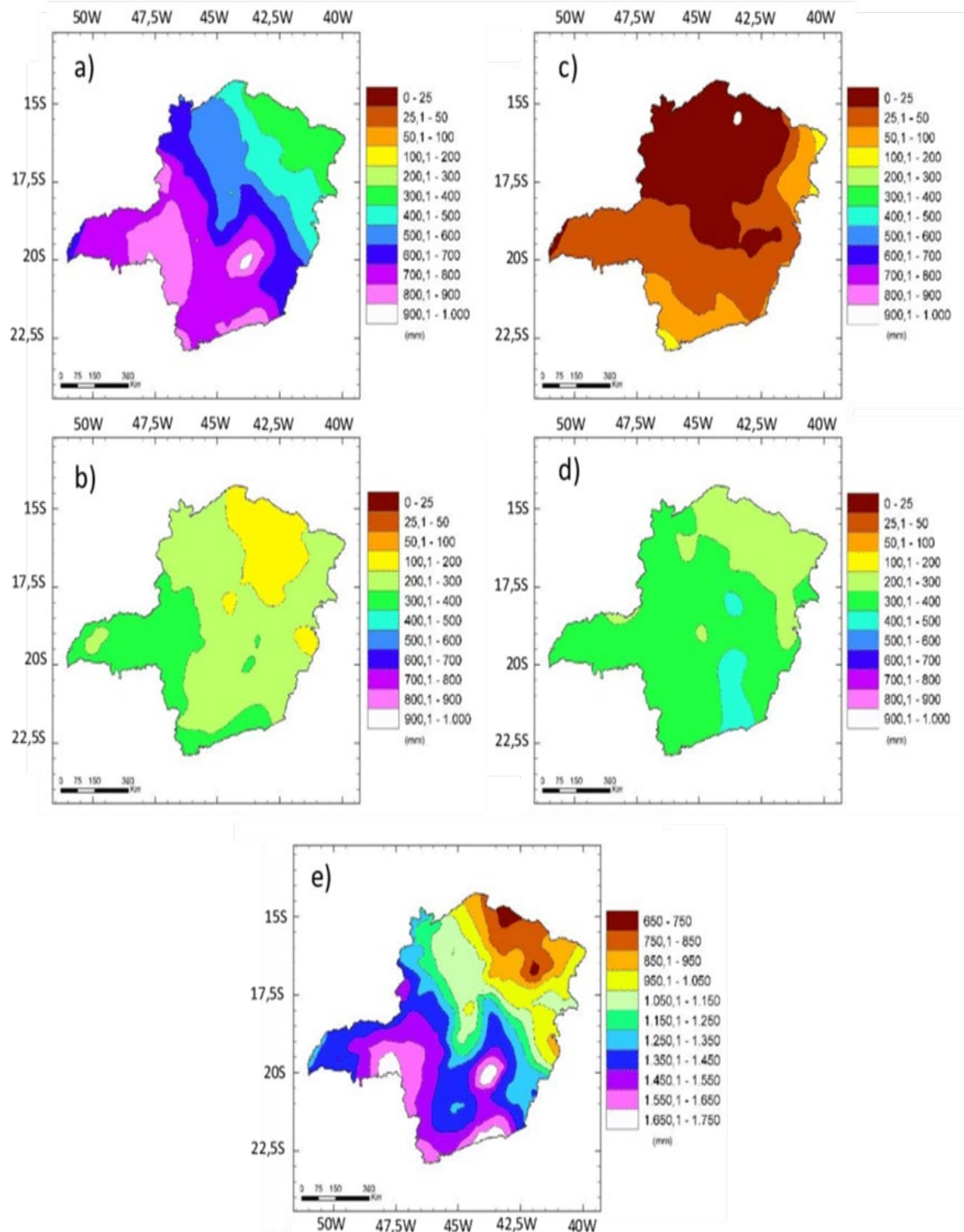
Fonte: Mapa hipsométrico (metros) do estado de Minas Gerais, com indicações das serras da Canastra, do Espinhaço e da Mantiqueira. Dados obtidos do United States Geological Survey (USGS)

Mapa 2 - Média anual de radiação solar para o estado de Minas Gerais. As regiões com maiores médias são o Norte e o Noroeste de Minas.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/3coGPZVy6shxio7F7>. Acessado em: 15 maio 2025.

Mapa 3 - Precipitação (mm) média sazonal e anual em Minas Gerais no período de 1998a 2012: a) verão, b) outono, c) inverno, d) primavera e e) média anual.



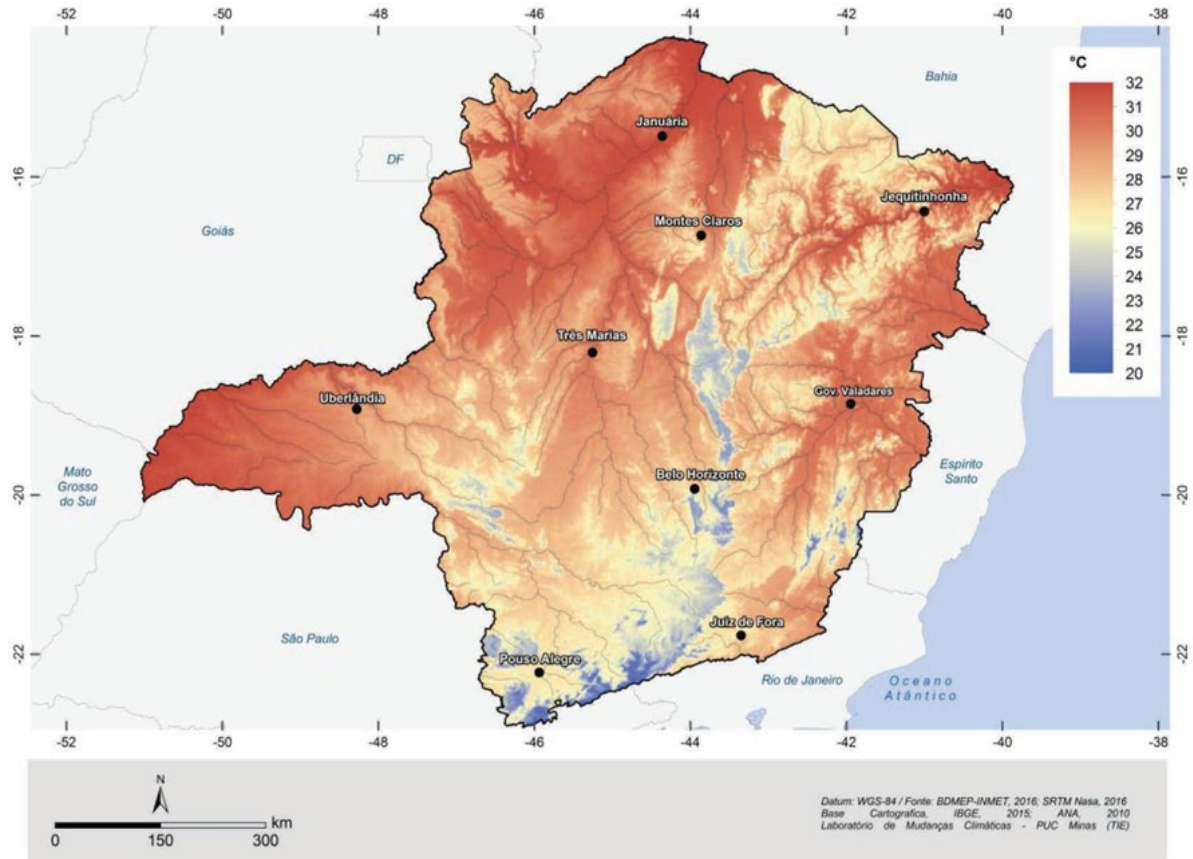
Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Precipitacao-mm-media-sazonal-e-anual-em-Minas-Gerais-no-periodo-de-1998-a_fig2_318256211

Tabela 2 - Valores médios da Energia Elétrica produzida por um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica para todas as 12 mesorregiões de Minas Gerais - 2016

Mesorregiões	Média Anual (kWh/kWp)	Média Anual – PR
Norte	1489	0,8
Noroeste	1469	0,8
Central de Minas	1407	0,8
Triângulo Mineiro	1400	0,8
Jequitinhonha	1364	0,79
Oeste	1341	0,79
Mucuri	1323	0,79
Metropolitana de BH	1322	0,79
Rio Doce	1309	0,8
Sul / Sudoeste	1287	0,79
Campo das Vertentes	1279	0,78
Zona da Mata	1258	0,79
MÉDIA ANUAL DO ESTADO	<u>1354</u>	<u>0,79</u>

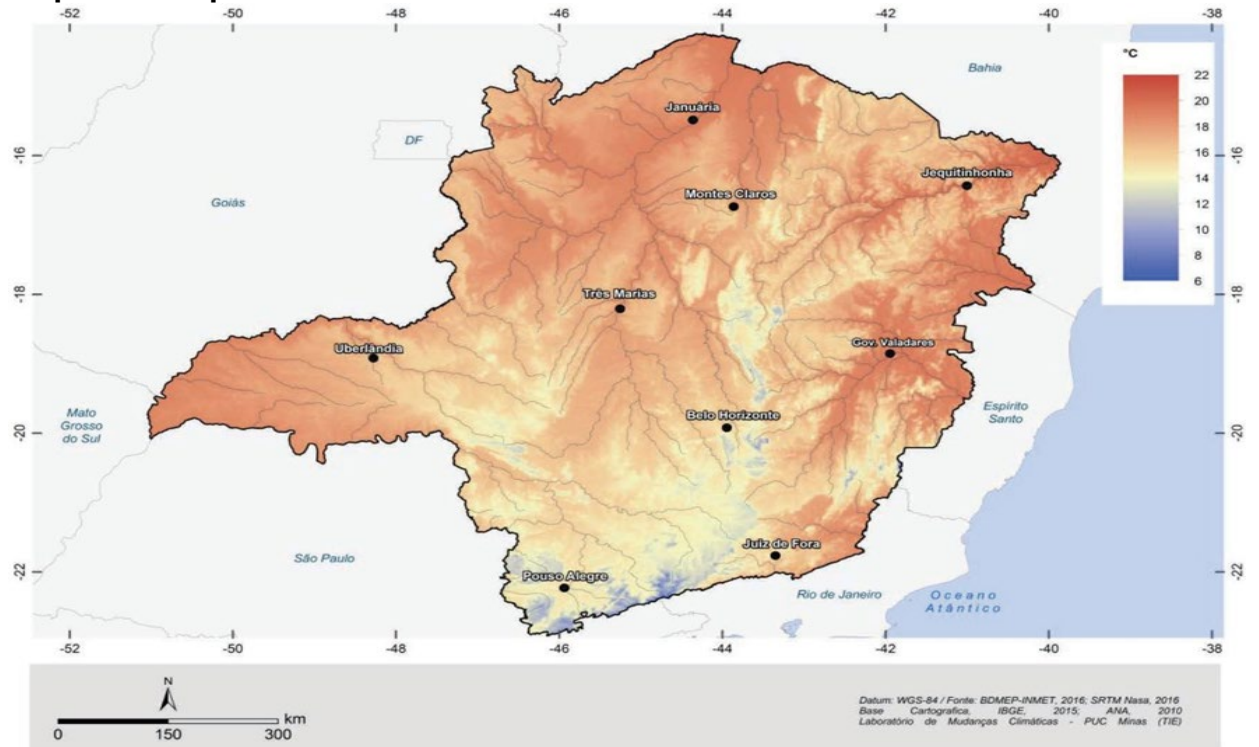
Fonte: Oliveira, Horta e Silva (2016)

Mapa 4 - Temperatura máxima média anual em Minas Gerais



Fonte: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/03/atlas-solarimetrico-vol-i-mg.pdf>

Mapa 5 - Temperatura mínima média anual em Minas Gerais.



Fonte: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/03/atlas-solarimetrico-vol-i-mg.pdf>

um impacto socioeconômico significativo. Durante as obras, iniciadas em janeiro de 2021, foram gerados cerca de 11 mil empregos diretos e indiretos, sendo aproximadamente 70% ocupados por moradores locais. A empresa também promoveu programas de capacitação profissional, priorizando a inclusão de mulheres nas atividades do projeto.

Figura 6 - Complexo Solar Janaúba – Janaúba/MG



Fonte: <https://diariodocomercio.com.br/economia/complexo-solar-de-janauba-e-inaugurado/Gontijo,J.> Complexo Solar Janaúba é inaugurado em investimento de R\$ 4 bilhões. Diário do Comércio, 2023.

- **Usina Solar Sol de Jaíba**

A Usina Solar Sol de Jaíba, localizada no município de Jaíba, no norte de Minas Gerais, é um dos mais significativos projetos de energia fotovoltaica em desenvolvimento no Brasil. Sob a responsabilidade da Auren Energia, o complexo ocupa uma área de aproximadamente 1.300 hectares e, quando concluído, terá uma capacidade instalada de 629,9 megawatts-pico (MWp), posicionando-se como a sexta maior usina solar do país. o projeto já conta com 957.066 módulos fotovoltaicos instalados, evidenciando a magnitude da infraestrutura envolvida. O investimento total estimado para a implementação da usina é de R\$ 2 bilhões, refletindo o compromisso da Auren Energia com a expansão da matriz energética renovável brasileira. A escolha de Jaíba para sediar o empreendimento deve-se aos elevados índices de irradiação solar e à baixa nebulosidade da região, fatores que a tornam uma das áreas mais propícias para a geração de energia solar no país. Além dos benefícios

ambientais, o complexo teve um impacto socioeconômico significativo, contribuindo para o desenvolvimento local e a geração de empregos.

Figura 7 - Usina solar Sol de Jaíba – Jaíba/MG



Fonte: <https://epbr.com.br/auren-coloca-em-operacao-usina-solar-sol-de-jaiba-em-minas-gerais-veja-ranking/>

- **Usina Solar Sol do Cerrado**

O Projeto Solar Sol do Cerrado, localizado no município de Jaíba, no Norte de Minas Gerais, é um dos maiores empreendimentos de energia fotovoltaica do Brasil. Desenvolvido pela Vale S.A., o complexo ocupa uma área total de 5.000 hectares e é composto por 17 subparques solares. A capacidade instalada do projeto é de aproximadamente 1.357 megawatts (MW), o que o posiciona como um dos maiores do país em termos de geração de energia solar. O complexo conta com cerca de 1,4 milhão de módulos fotovoltaicos equipados com sistemas de rastreamento automático, que acompanham a movimentação do sol ao longo do dia, otimizando a captação de energia. Os investimentos totais no projeto somaram cerca de R\$ 3 bilhões (aproximadamente US\$ 590 milhões), refletindo o compromisso da Vale com a expansão da matriz energética renovável brasileira. A escolha de Jaíba para sediar o

empreendimento deve-se aos elevados índices de irradiação solar e à baixa nebulosidade da região, fatores que a tornam uma das áreas mais propícias para a geração de energia solar no país. Além dos benefícios ambientais, o complexo teve um impacto socioeconômico significativo, contribuindo para o desenvolvimento local e a geração de empregos.

Diante de todas as informações apresentadas, percebe-se que explorar o potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais representa uma excelente oportunidade didática. Além de favorecer a aprendizagem sobre a geração de energia solar, a proposta também permite que os alunos conheçam melhor as características e as potencialidades da própria região. Ao inserir o efeito fotoelétrico no contexto de uma sequência didática baseada em metodologias ativas, cria-se um ambiente propício à participação mais efetiva dos estudantes. Essa abordagem valoriza o protagonismo discente, pois estimula a investigação, a experimentação e a construção coletiva do conhecimento. Como destacam Zabala (1998) e Moreira (2006), estratégias didáticas que envolvem o aluno de forma ativa favorecem não apenas a fixação dos conteúdos, mas também o desenvolvimento de competências como autonomia, criticidade e capacidade de aplicar o conhecimento em situações reais.

Figura 7 - Usina solar Sol do Cerrado – Jaíba/MG



Fonte: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2022/11/18/internas_economia,1422896/vale-inicia-operacao-de-megausina-solar-no-norte-de-minas.shtml. Acessado em: 18 maio 2025.

7 CONCLUSÃO

A elaboração desta sequência didática teve como propósito central contribuir para o ensino do efeito fotovoltaico no Ensino Médio de forma contextualizada, significativa e alinhada às necessidades da formação científica dos estudantes. Partindo da constatação de que a energia solar representa uma alternativa promissora no cenário energético contemporâneo, especialmente em regiões com elevado potencial solarimétrico, como o Norte de Minas Gerais, buscou-se integrar os conceitos físicos a uma realidade próxima dos alunos, valorizando aspectos ambientais, sociais e econômicos locais.

A proposta didática construída neste trabalho procurou articular teoria e prática por meio de atividades investigativas, análise de dados reais, discussão de textos e problematizações que estimulam a reflexão crítica e o protagonismo dos estudantes. Ao explorar a diferença entre efeito fotovoltaico e efeito fotoelétrico e ao evidenciar a viabilidade do uso da energia solar na região, espera-se que a sequência didática possa ampliar a compreensão dos discentes não apenas sobre fenômenos físicos, mas também sobre as implicações sociais e ambientais do uso de fontes de energia renováveis.

Embora a proposta ainda não tenha sido aplicada em sala de aula, ela foi fundamentada em pressupostos teóricos sólidos, alinhados às diretrizes atuais da Educação em Ciências e às competências exigidas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação da sequência em turmas do Ensino Médio, com posterior avaliação de sua eficácia quanto à aprendizagem dos estudantes e ao desenvolvimento de atitudes voltadas à sustentabilidade e à cidadania energética.

Assim, este trabalho reafirma a importância de se pensar o ensino da Física de forma contextualizada, integrando os saberes científicos às vivências regionais e aponta caminhos possíveis para tornar a sala de aula um espaço mais significativo, crítico e transformador.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Cartilha de geração distribuída fotovoltaica. Brasília: ANEEL, 2022.

ALBUQUERQUE, A. A.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, J. M. Análise preliminar da sucessão de tipos de tempo no norte de Minas Gerais. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, v. 25, n. 1, p. 1-15, 2017. Disponível em:

<https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11491/8229>.

Acesso em: 21 abril 2025.

ALBUQUERQUE, Kleber Briz; SANTOS, Paulo José Sena dos; FERREIRA, Gabriela Kaiana. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 461–482, 2015.

ALEXOPOULOS, Spiros; HOFFSCHMIDT, Bernhard. Concentrating Receiver Systems (Solar Power Tower). In: RICHTER, Christoph; LINCOT, Daniel; GUEYMARD, C. (ed.). **Solar energy**. New York: Springer, 2013.

AMERICAN PHYSICAL SOCIETY. Superconductivity research and applications. Disponível em: <https://www.aps.org/>. Acesso em: 21 abril 2025.

ARAÚJO, Denise Lino de.

O que é (e como faz) sequência didática?

Revista Entrepalavras, Fortaleza, v. 3, n. 1, p. 322–334, 2013.

Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/23796> . Acesso em: 30 maio 2025.

AUSUBEL, David Paul. *A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1980.

AUSUBEL, David Paul. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano, 2003.

BONFIM, Danúbia Damiana Santos; COSTA, Priscila Carozza Frasson; NASCIMENTO, William Júnior do. A Abordagem dos Três Momentos Pedagógicos no Estudo de Velocidade Escalar Média. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 1, p. 187–197, 2020.

BONFIM, Danúbia Damiana Santos; NASCIMENTO, William Júnior do. Os três momentos pedagógicos no ensino de física: uma revisão sistemática de literatura. **Ensino & Pesquisa**, v. 16, n. 3, p. 138–155, 2018.

BORGES, R. C. C. Reflexões sobre a aprendizagem em Física: obstáculos e possibilidades. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 148–158, 2002.

BRAIT, Lilian Ferreira Rodrigues *et al.* A Relação Professor/Aluno no Processo de Ensino e Aprendizagem. **Itinerarius Reflectionis**, v. 6, n. 1, 2010.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio – Ciências da Natureza. Brasília: MEC, 2018.

BRITO, A. S. de; FREITAS, A. M. B. de; SILVA, E. S. da. Uma abordagem introdutória ao efeito fotovoltaico em aulas de Física no Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 39, n. 2, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zmFYrhnnhLQ8dMHk7CDmSfs/>. Acesso em: 21 abril 2025.

BROWN, Theodore L. *et al. Chemistry: The Central Science*. 13th. ed. Boston: Pearson, 2015.

CESAR A., Dartora. Conversão fotovoltaica de energia solar: aspectos físicos e tecnológicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 31, n. 3, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0191> . Acesso em: 21 abril 2025.

Como funciona a energia solar – disponível em <https://escolakids.uol.com.br/geografia/energia-solar.htm>. Acesso em: 20 abril 2025.

COMO FUNCIONA uma USINA SOLAR #Boravê – disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=W1nQT7az8c>; Acesso em: 15 maio 2025.

Conceitos da física clássica e moderna por meio da tinta condutora a base de carbono –disponível em <http://www2.uesb.br/ppg/mnpef/wpcontent/uploads/2023/03/Disserta%C3%A7%C3%A3o-versao-aprovada-pela-banca-Jos%C3%A9-Claudio.pdf> Acesso em: 15 maio 2025.

Construindo o novo ensino médio - projetos interdisciplinares - física - Maurício Pietrocola e Ernani V. Rodrigues – disponível em https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7573532/mod_resource/content/1/FCF_PNL_D_21_O3_divulgacao.pdf. Acessado em: 09 de maio de 2025.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. Atlas brasileiro de energia solar. São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2017. <https://cresesb.cepel.br/> Acesso em: 15 maio 2025.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez, 1994.

DEPARTMENT OF ENERGY. **How Does Solar Work?** 2023. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/solar/how-does-solar-work> . Acesso em: 20 maio 2025.

DOLZ, Joaquim; NOVERRAZ, Martine; SCHNEUWLY, Bernard.

Sequências didáticas para o oral e a escrita: apresentação de um procedimento. In: SCHNEUWLY, B.; DOLZ, J. (Org.). *Gêneros orais e escritos na escola*. Campinas: Mercado de Letras, 2004. p. 95–128.

Efeito Fotoelétrico – disponível em

https://phet.colorado.edu/sims/cheerj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR; Acesso em: 18 maio 2025.

EFEITO FOTOVOLTAICO VERSUS EFEITO FOTOELÉTRICO NA ESCOLA DE EDUCAÇÃO BÁSICA – disponível em

<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/36699>. Acesso em: 18 maio 2025.

EINSTEIN, Albert. Sobre um ponto de vista heurístico relativo à produção e transformação da luz. *Annalen der Physik*, 1905. (Tradução para o português em diversas edições acadêmicas).

EIXOS. Auren coloca em operação usina solar Sol de Jaíba em Minas Gerais; veja ranking. *epbr*, 24 jan. 2024. Disponível em: <https://epbr.com.br/auren-coloca-em-operacao-usina-solar-sol-de-jaiba-em-minas-gerais-veja-ranking/>. Acesso em: 18 maio 2025.

ELERT, Glenn. Efeito Fotoelétrico – The Physics Hypertextbook. Disponível em: <https://physics.info/photoelectric/>. Acesso em: 14 maio 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE; INSTITUTO METEOROLÓGICO DE MINAS GERAIS – IMET; SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS – SEDE. Atlas solarimétrico do Estado de Minas Gerais: Volume I – Diagnóstico do Potencial de Geração Fotovoltaica em Minas Gerais. Belo Horizonte: EPE/IMET/SEDE, 2017. Disponível em: <https://www.sede.mg.gov.br/images/AtlasSolarimetricoMG-Vol1.pdf>. Acesso em: 15 maio 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE; INSTITUTO METEOROLÓGICO DE MINAS GERAIS – IMET; SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS – SEDE. Atlas solarimétrico do Estado de Minas Gerais: Volume II – Mapas e Séries Históricas. Belo Horizonte: EPE/IMET/SEDE, 2017. Disponível em: <https://www.sede.mg.gov.br/images/AtlasSolarimetricoMG-Vol2.pdf>. Acesso em: 15 maio 2025.

Energia solar – Limpa, democrática e polêmica – disponível em

<https://ecoa.org.br/energia-solar-limpa-democratica-e-polemica/>. Acessado em: 09 de maio de 2025;

GARCIA, R. A. O clima em áreas limítrofes ao planalto meridional do Espinhaço. *Revista Brasileira de Climatologia*, Dourados, v. 23, p. 104-121, 2018. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/download/14186/7417/45362>. Acesso em: 21 abril 2025.

GIANCOLI, Douglas C. Física: princípios com aplicações. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GREEN, Martin A. Third generation photovoltaics: advanced solar energy conversion. Berlin: Springer, 2003.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física. Vol. 3: eletromagnetismo, óptica e física moderna. 7. ed. Belmont: Brooks/Cole Cengage

Learning, 2012.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. Vol. 2: Eletricidade e magnetismo. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física: eletromagnetismo, ótica e física moderna. Vol. 3. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. Vol. 4: Óptica e física moderna. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

<https://diariodocomercio.com.br/economia/complexo-solar-de-janauba-e-inaugurado> .Acessado em:18 maio 2025.

https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2022/11/18/internas_economia,1422896/vale-inicia-operacao-de-megausina-solar-no-norte-de-minas.shtml .Acessado em:18 maio 2025.

KUBO, E.; BOTOMÉ, S. P. Educação e aprendizagem: uma abordagem cognitivista. Campinas: Autores Associados, 2001.

KUBO, Olga Mitsue; BOTOMÉ, Sílvio Paulo. Ensino-aprendizagem: uma interação entre dois processos comportamentais. **Interação em Psicologia**, v. 5, n. 1, 2001.

MACHADO, Nilson José.

Sequência didática e organização do conhecimento escolar.

Cadernos CEDES, Campinas, v. 25, n. 65, p. 253–264, 2005.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-32622005000200007> . Acesso em: 22 maio 2025.

MARTINS, Roberto de Andrade. Física moderna: dos quanta à estrutura do átomo. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

MOREIRA, Marco Antônio.

Aprendizagem significativa: um conceito subjacente.

Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, 2021.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451> . Acesso em: 18 maio 2025.

MOREIRA, Marcos Antônio. Teoria da aprendizagem significativa: contribuições para a construção de uma educação científica. São Paulo: Centauro, 2006.

MUENCHEN, Cristiane; DELIZOICOV, Demétrio. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 20, n. 3, p. 617–638, 2014.

OLIVEIRA, Luís Guilherme Monteiro; HORTA, Lucas Bacha Pereira; SILVA, Pedro Henrique. Estimativa de Geração Fotovoltaica para o Estado de Minas Gerais. In: REIS, Ruibran Januário dos; TIBA, Chigueru (ed.). **Atlas solarimétrico de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Futura Express, 2016. v. II, 236p.

OXTOBY, David W.; GILLIS, H. P.; CAMPION, Alan. **Principles of Modern Chemistry**. HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. Vol. 3: eletromagnetismo, óptica e física moderna. 7. ed. Belmont: Brooks/Cole Cengage Learning, 2012.

PIAGET, Jean. A formação do símbolo na criança: imitação, jogo e sonho, imagem e representação. Rio de Janeiro: Zahar, 1972.

PORTAL SOLAR. Diferença entre efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico. 2024. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br> . Acesso em: 15 junho. 2025.

PORTAL SOLAR. Efeito fotoelétrico x efeito fotovoltaico: quais as diferenças? Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/efeito-fotoeletrico-efeito-fotovoltaico> . Acesso em: 19 maio 2025.

Processo de Transformação da Energia Solar em Fotovoltaica – disponível em <http://www2.uesb.br/ppg/mnpef/wp-content/uploads/2023/10/Disserta%C3%A7%C3%A3o-versao-aprovada-pela-banca-%C3%89gilo.pdf> Acesso em: 20 maio 2025.

Quais os tipos de questionários para pesquisa – disponível em <https://www.sesamehr.com.br/blog/tipos-questionarios/> acessado em 09 de maio de 2025.

REBOITA, Michelle Simões; RODRIGUES, Marcelo; SILVA, Luiz Felipe; ALVES, Maria Amélia. ASPECTOS CLIMÁTICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CLIMATE ASPECTS IN MINAS GERAIS STATE). Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.], v. 17, 2015. DOI: 10.5380/abclima.v17i0.41493. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/41493> . Acesso em: 20 maio. 2025.

SANTOS, R. C. Análise preliminar da sucessão de tipos de tempo no norte de Minas Gerais. Revista Geonomos, Belo Horizonte, v. 25, n. 1, p. 1-15, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11491/8229>. Acesso em: 21 abril 2025.

SCHNEUWLY, Bernard; DOLZ, Joaquim.

Gêneros orais e escritos na escola.

Campinas: Mercado de Letras, 2004.

Simulação computacional formas de energia – disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 22 abril 2025.

SINGH, Jasprit. Semiconductor devices: basic principles. Hoboken: Wiley, 2014.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. Física para cientistas e engenheiros. Vol. 3. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

Vantagens e desvantagens da Energia Solar – disponível em <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/vantagens-desvantagens-energia-solar.htm> acessado em: 09 de maio de 2025;

VILLALVA, Marcelo Gradella. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2012.

VYGOTSKY, Lev S. A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

ZABALA, Antoni. A prática educativa: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZABALA, Antoni.

A prática educativa: como ensinar.

Porto Alegre: Artmed, 1998.

(Capítulo sobre organização de conteúdos em unidades didáticas e sequências).

APÊNDICE A - APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO INICIAL DO TIPO LIKERT PARA DIAGNÓSTICO DOS CONHECIMENTO DOS ALUNOS.

PLANO DE AULA.

- 1° aula da problematização inicial. Questionário do tipo likert sobre energia fotovoltaica).
- Duração: 50 minutos.
- Tema: Energia Fotovoltaica e a concepção dos alunos sobre sua relevância e impacto.

HABILIDADES

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

OBJETIVO GERAL:

Avaliar a compreensão e a opinião dos alunos sobre energia fotovoltaica e sua relevância no contexto atual de sustentabilidade e tecnologia, utilizando um

questionário likert.

OBJETIVO ESPECÍFICO:

- Familiarizar os alunos com o conceito de energia fotovoltaica;
- Promover o pensamento crítico sobre o impacto das energias renováveis no meio ambiente e na economia;
- Coletar dados dos alunos em relação a sua opinião sobre a energia solar e seu papel na matriz energética futura;
- Aplicar um questionário likert para coleta de opiniões dos alunos sobre o tema.

RECURSOS UTILIZADOS:

- Quadro branco, marcadores,
- Questionários impressos com a escala likert.

DESENVOLVIMENTO

Primeiro momento: Introdução ao tema.

- Dinâmica inicial: Perguntar aos alunos se já ouviram falar sobre a energia solar e o que sabem sobre o tema;
- Apresentação: Explique brevemente o conceito de energia fotovoltaica e como funciona o processo de conversão da luz solar em eletricidade;
- Expor a importância da energia solar no contexto das energias renováveis, mencionando o potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais.

Segundo momento: Explicação do questionário likert.

- Definição: Explicar o que é a escala likert, destacando que é uma forma de medir atitudes e opiniões que vai de, “Discordo muito” a “Concordo muito”;
- Mostrar um exemplo simples de uma pergunta na escala likert.

Terceiro momento: Aplicação do questionário likert.

	Discordo muito	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo muito
Já ouvi falar sobre o efeito fotovoltaico.					
Sei como a luz solar pode ser convertida em energia elétrica.					
Consigo explicar, mesmo que de forma simples, como funcionam os painéis solares.					
Sei a diferença entre o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico.					
Já estudei sobre energia solar em alguma aula de Física.					
Acredito que a energia solar pode substituir outras fontes de energia no futuro.					
Considero a energia solar uma fonte importante para preservar o meio ambiente.					
Vejo a energia solar como algo acessível para a população da minha região.					
Acredito que o uso da energia solar pode gerar benefícios econômicos para comunidades locais.					
Gostaria de aprender mais sobre fontes renováveis de energia, especialmente a solar.					
Sei que o Norte de Minas Gerais tem bom potencial para geração de energia solar.					
Já ouvi falar sobre a quantidade de radiação solar na nossa região.					
Penso que é possível gerar energia elétrica em casa com a luz do sol.					
Já vi painéis solares funcionando na minha comunidade, escola ou casa.					
Acho importante conhecer a realidade energética da nossa própria região.					

***Observação: Dar instruções de como preencher o questionário, lembrando aos alunos que não há respostas certas ou erradas, apenas suas opiniões pessoais.**

Quarto momento: Discussão e reflexão.

- Debate: Após aplicação, abrir uma breve discussão sobre as respostas;
- Reflexão: estimular a reflexão sobre possíveis barreiras e oportunidades para adoção de energia fotovoltaica, relacionado o tema ao contexto local, estadual e nacional.

Momento: Encerramento.

- Fazer um resumo dos pontos principais da aula e mencionar a importância das energias renováveis para o futuro do nosso planeta.

APÊNDICE B - DEBATE: EFEITO FOTOVOLTAICO E POTENCIAL SOLAR DO NORTE DE MINAS GERAIS.

PLANO DE AULA

- 2º aula Etapa da sequência: Continuação da problematização (construção coletiva do conhecimento a partir das percepções iniciais).
- Duração: 50 minutos
- Tema: Debate sobre o efeito fotovoltaico e o potencial solar do Norte de Minas Gerais

HABILIDADES

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

OBJETIVO GERAL

Estimular o pensamento crítico e o diálogo entre os alunos sobre o funcionamento do efeito fotovoltaico e o aproveitamento do potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais como alternativa energética sustentável.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir coletivamente o conceito de efeito fotovoltaico e sua aplicação prática;
- Relacionar os conhecimentos iniciais com dados sobre o potencial solar da região;
- Incentivar os alunos a refletirem sobre as possibilidades de uso da energia solar em seu contexto local;
- Desenvolver a capacidade argumentativa por meio do debate.

RECURSOS UTILIZADOS

- Quadro branco e marcadores
- Projetor multimídia (Slides com imagens de painéis solares, mapas de radiação solar do Norte de Minas)

DESENVOLVIMENTO DA AULA

1º Momento: Releitura dos conhecimentos prévios.

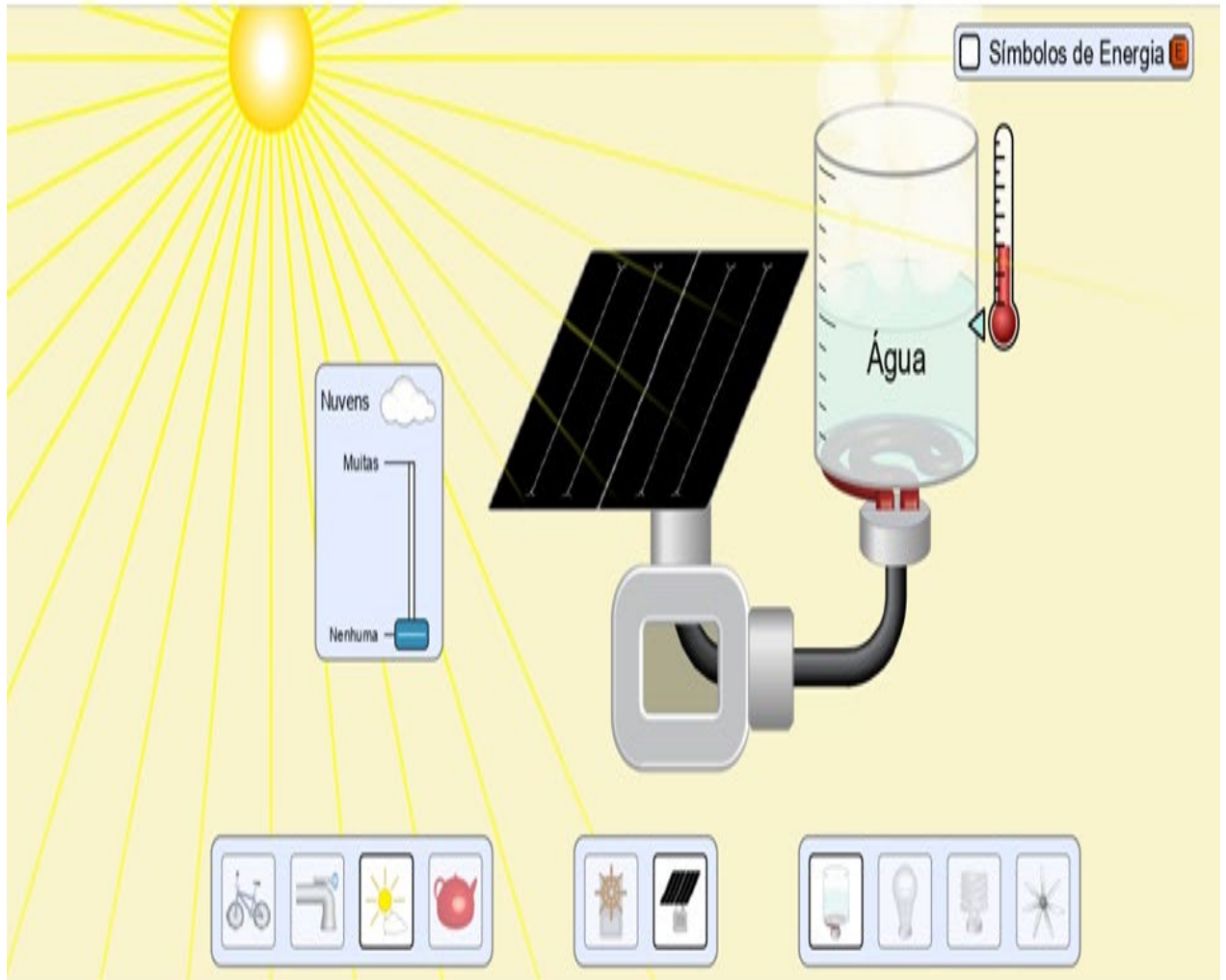
- Retomar os principais resultados do questionário da aula anterior, destacando:
- O que os alunos já sabiam;
- O que gerou mais interesse ou dúvidas;
- Escrever no quadro algumas frases ou dados coletivos a partir do questionário (ex: "80% já ouviram falar sobre energia solar", "50% gostariam de saber mais").

2º Momento: Apresentação teórica e contextual

- Explicação mais aprofundada sobre:
- O que é o efeito fotovoltaico (com exemplos visuais);

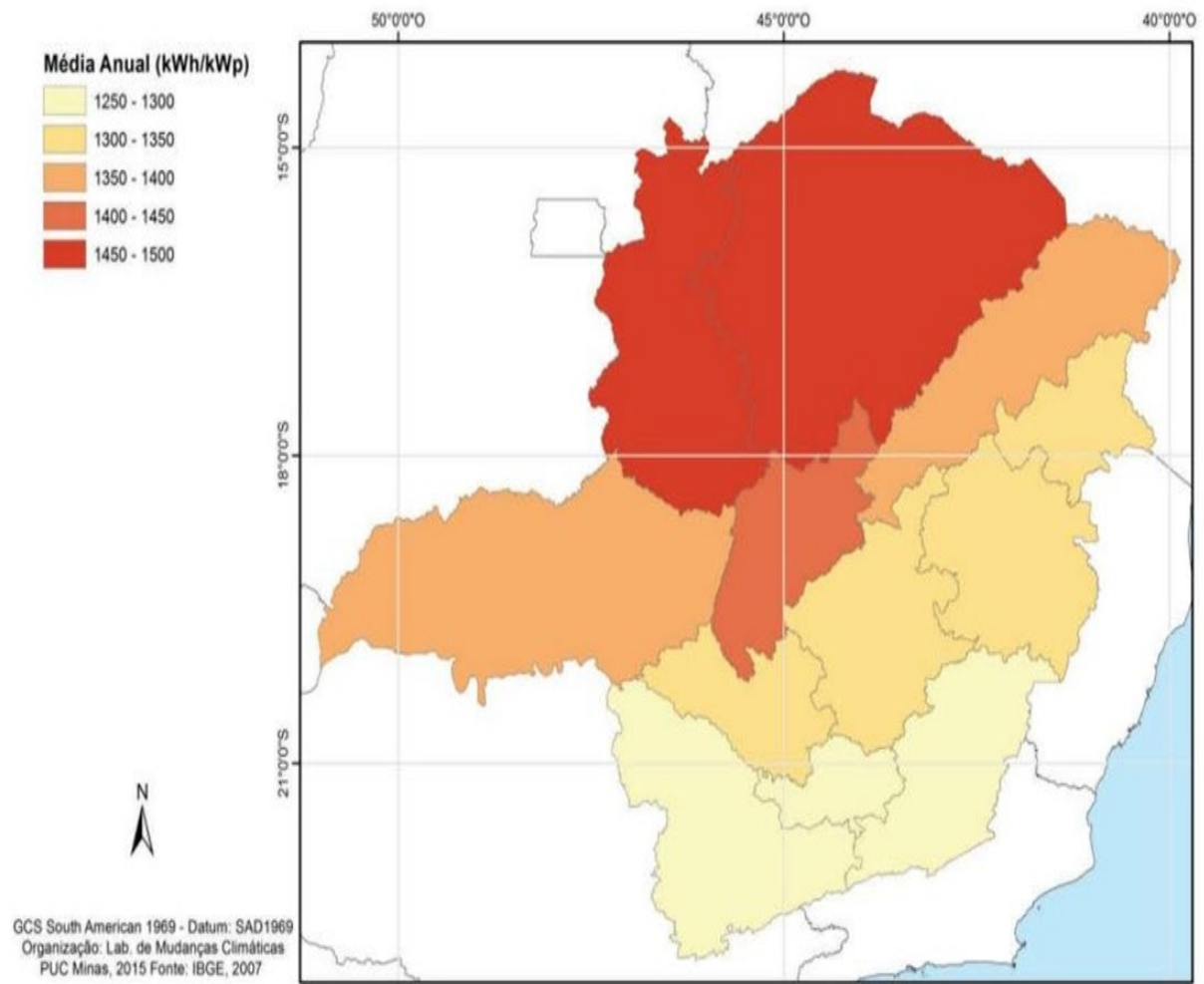
- Como funcionam os painéis solares;
- Mostrar exemplos de aplicação da energia solar na região: escolas, comércios, residências.

Como funciona uma placa solar fotovoltaica



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_all.html?locale=pt

Potencial Solarimétrico do Norte de Minas Gerais



Atlas Solarimétrico do Estado de Minas Gerais. 2016, p. 105.

Parques Solares do Norte de Minas Gerais

Complexo solar de Janaúba-MG



Gontijo, J. Complexo Solar Janaúba é inaugurado em investimento de R\$ 4 bilhões. Diário do Comércio, 2023.

Usina solar sol de Jaíba- Jaíba-MG



epbr. Auren coloca em operação usina solar Sol de Jaíba em Minas Gerais; veja ranking. 2024.

Usina solar Sol do Cerrado- Jaíba-MG



Prefeitura de Jaíba. Vale investirá 2,5 bilhões de reais em Jaíba no “Projeto Solar Sol do Cerrado” para geração de energia Fotovoltaica, empreendimento será na Fazenda Agropema/Agropeva. 2020.Vale. Vale atinge capacidade máxima no complexo de energia solar Sol do Cerrado. 2023.

APÊNDICE C - DIFERENÇA ENTRE O EFEITO FOTOELÉTRICO E O EFEITO FOTOVOLTAICO. (COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS EFEITOS, EXPLICAÇÃO TEÓRICA E EXEMPLOS PRÁTICOS.

PLANO DE AULA

- 3º aula Etapa da sequência: Aprofundamento conceitual
- Duração: 50 minutos
- Tema: Diferença entre o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico

HABILIDADES:

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT104) Avaliar potenciais prejuízos de diferentes materiais e produtos à saúde e ao ambiente, considerando sua composição, toxicidade e reatividade, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para o uso adequado desses materiais e produtos.

OBJETIVO GERAL

Compreender as diferenças conceituais e aplicadas entre o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico, relacionando teoria e prática por meio de exemplos acessíveis.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explicar o que é o efeito fotoelétrico com base na Física Moderna;
- Explicar o que é o efeito fotovoltaico com base na conversão de energia solar em elétrica;
- Comparar os dois fenômenos destacando seus contextos de aplicação;
- Apresentar exemplos práticos que ajudem na visualização das diferenças;
- Estimular a reflexão sobre como os dois efeitos se relacionam com a geração de energia limpa.

RECURSOS DIDÁTICOS

- Quadro branco e marcadores
- Projetor multimídia (Slides ilustrativos com vídeos curtos demonstrativos)
- Desenvolvimento da Aula

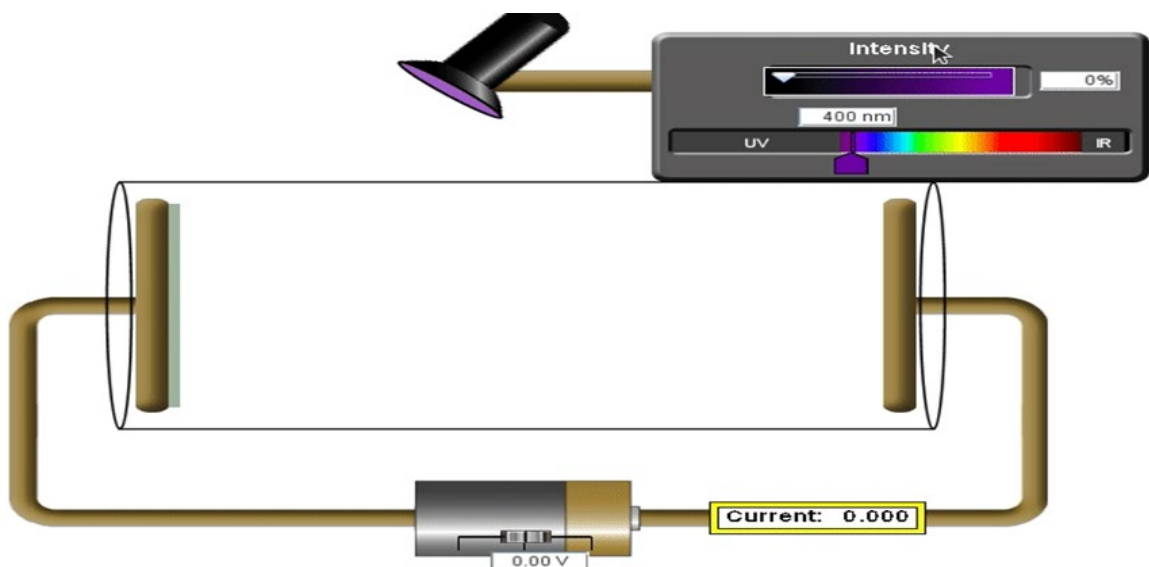
DESENVOLVIMENTO

1º Momento

- Perguntar aos alunos se já ouviram falar do efeito fotoelétrico (ligado à Física Moderna) e fazer um link com o efeito fotovoltaico estudado na aula anterior.
- Escrever no quadro: EFEITO FOTOELÉTRICO \neq EFEITO FOTOVOLTAICO
- E perguntar: "Vocês acham que são a mesma coisa? O que pode diferenciar esses dois efeitos?"

2º Momento – Explicação teórica

- Efeito Fotoelétrico: Ocorre quando fótons de luz incidem sobre um metal e arrancam elétrons da superfície desse metal.
- Foi explicado por Albert Einstein, ganhador do Prêmio Nobel por esse trabalho em 1921.
- Baseia-se no conceito de quantização da energia da luz.
- Aplicações: sensores de luz, portas automáticas.



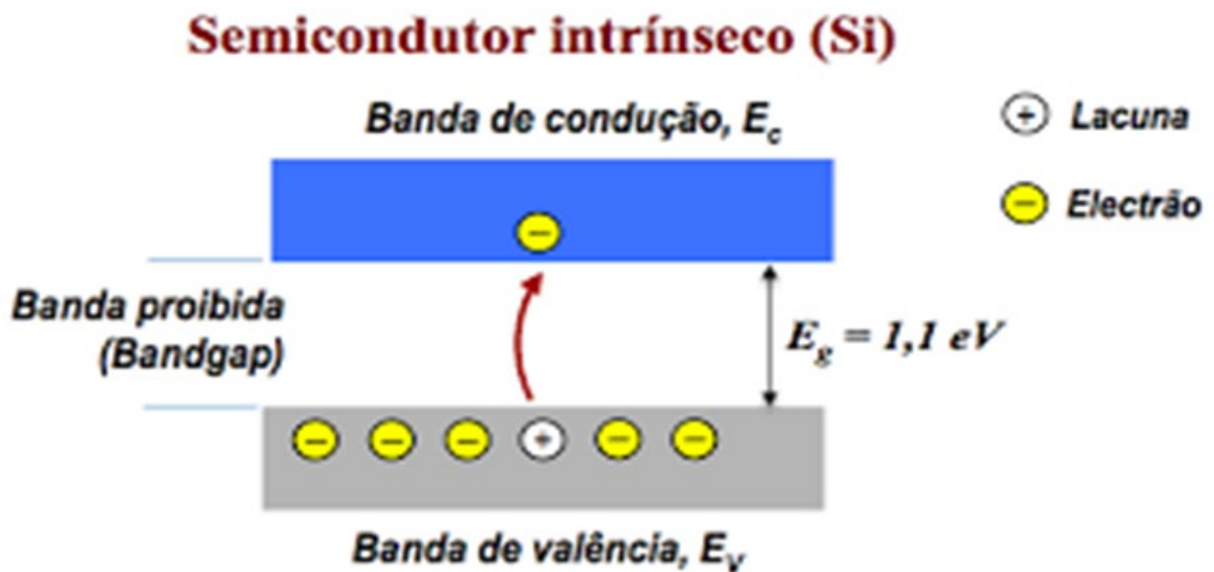
https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric

Efeito Fotovoltaico:

Ocorre quando a luz atinge um material semiconductor (geralmente o silício), gerando uma corrente elétrica contínua, aproveitada para gerar energia.

Baseia-se no movimento dos elétrons dentro do material e na separação de cargas por uma junção semicondutora (tipo p-n).

Aplicações: painéis solares residenciais, calculadoras solares, usinas solares.



<https://images.app.goo.gl/TiwbPLvwSM2sg9d68>

Como funciona a condução elétrica em semicondutores?

A quantidade de elétrons e lacunas disponíveis em um semicondutor puro depende de três fatores principais:

1. Energia do gap (energia da banda proibida):

É a energia que o elétron precisa para conseguir sair da banda de valência e passar para a banda de condução. Quanto menor for essa energia, mais fácil será para os elétrons se movimentarem e contribuir para a condução elétrica.

2. Temperatura:

A temperatura, geralmente representada pela letra T (em Kelvin), também afeta esse processo. Com o aumento da temperatura, os átomos vibram mais e fornecem energia térmica aos elétrons, o que facilita o salto dos elétrons para a banda de condução. Ou seja, quanto maior a temperatura, mais portadores de carga (elétrons e lacunas) estarão disponíveis para conduzir corrente elétrica.

3. Massa efetiva do elétron e da lacuna:

Nos materiais semicondutores, os elétrons e lacunas não se movem com a mesma facilidade que teriam no vácuo, pois são influenciados pela estrutura do cristal. Para descrever isso, usamos os conceitos de:

Massa efetiva do elétron – indica o quanto o elétron “parece pesar” dentro do cristal. Quanto menor for essa massa efetiva, mais fácil é para o elétron se mover.

Massa efetiva da lacuna – é o equivalente para a lacuna (o espaço deixado pelo elétron). Também, quanto menor for a massa efetiva da lacuna, mais fácil é o movimento dela.

3º Momento – Quadro comparativo

Apresentar um quadro como este no quadro ou slide:

Aspecto	Efeito Fotoelétrico	Efeito Fotovoltaico
Base Física	Emissão de elétrons	Geração de corrente elétrica
Material utilizado	Metais	Semicondutores
Energia da Luz	Arranca elétrons.	Move elétrons internamente
Aplicação	Sensores	Geração de energia elétrica (painéis solares)

4º Momento – Exemplos práticos e vídeos

- Mostrar vídeo do efeito fotoelétrico (ex: laser sobre metal e emissão de elétrons);
- Mostrar simulação ou animação de como os painéis solares funcionam;
- Levar uma mini placa solar simples (se possível) e mostrar como ela funciona com luz artificial ou solar.

APÊNDICE D - EFEITO FOTOVOLTAICO: FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS SOLARES E A FÍSICA DOS SEMICONDUTORES.

PLANO DE AULA

- 4º aula Etapa da sequência: Aprofundamento conceitual técnico
- Duração: 50 minutos
- Tema: Efeito fotovoltaico e funcionamento das células solares

HABILIDADES:

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT104) Avaliar potenciais prejuízos de diferentes materiais e produtos à saúde e ao ambiente, considerando sua composição, toxicidade e reatividade, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para o uso adequado desses materiais e produtos.

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT308) Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos.

OBJETIVO GERAL

Aprofundar o conhecimento dos alunos sobre o efeito fotovoltaico, compreendendo o funcionamento das células solares com base na física dos semicondutores e bandas de energia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explicar o que são semicondutores e como funcionam nas células solares;

- Introduzir o conceito de bandas de energia (banda de valência e banda de condução);
- Mostrar como ocorre a geração de corrente elétrica em uma célula solar;
- Relacionar os conceitos físicos à aplicação prática dos painéis solares;
- Estimular o interesse científico e tecnológico por meio de exemplos visuais.

RECURSOS DIDÁTICOS

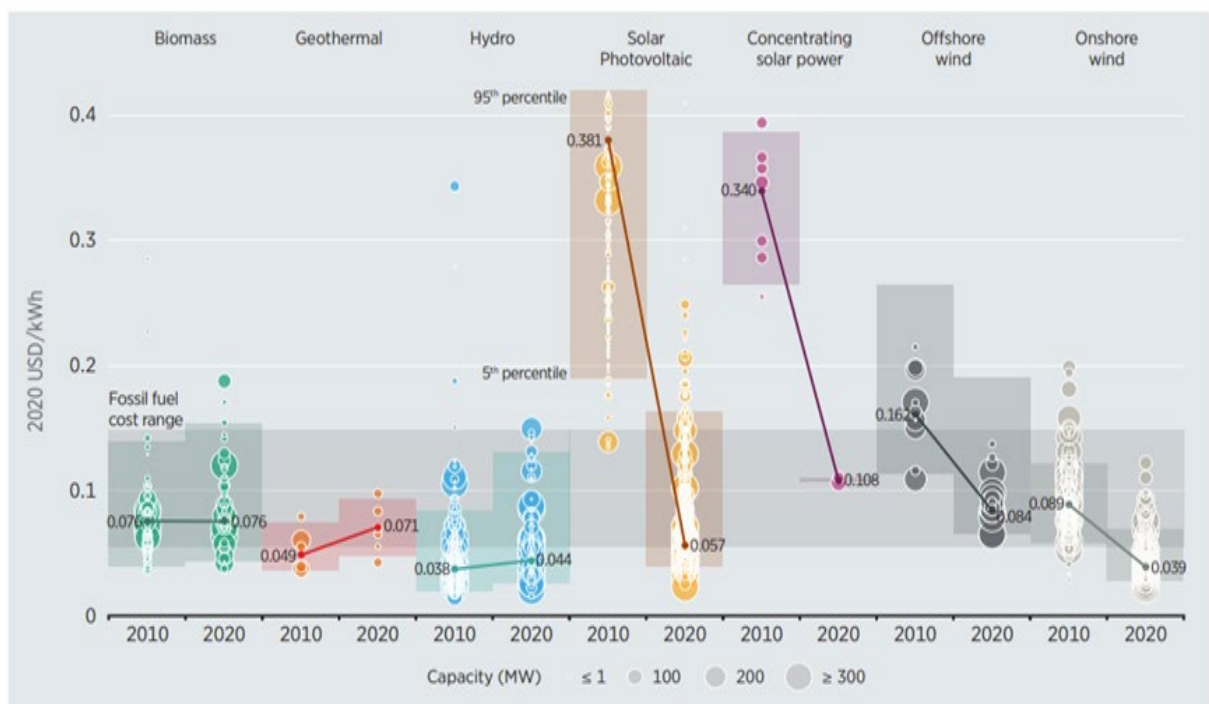
- Quadro branco e marcadores
- Projetor multimídia (Slides ilustrativos com diagramas das bandas de energia e da célula solar, imagem ampliada de célula fotovoltaica), Vídeos curtos demonstrativos

DESENVOLVIMENTO DA AULA

1º Momento – Retomada e introdução

- Retomar os principais pontos das aulas anteriores (efeito fotovoltaico e diferença do efeito fotoelétrico);
- Apresentar o foco da aula: como funciona uma célula solar de verdade.

Figure 1.2 Global LCOEs from newly commissioned, utility-scale renewable power generation technologies, 2010-2020



<https://now.solar/2022/09/28/renewable-power-generation-costs-in2020/>
<https://now.solar/2022/09/28/renewable-power-generation-costs-in-2020/>

O Crescimento da Energia Fotovoltaica: Uma Década de Avanços nos últimos anos, a energia fotovoltaica tem se destacado como uma das fontes renováveis mais promissoras e acessíveis. Entre 2010 e 2020, o custo médio global nivelado de eletricidade (LCOE) para projetos de grande escala de energia solar fotovoltaica caiu impressionantes 85%, passando de US\$ 0,381/kWh para US\$ 0,057/kWh.

Esse declínio acentuado nos custos foi impulsionado por diversos fatores, incluindo:

- **Avanços Tecnológicos:** Melhorias na eficiência dos módulos solares e na tecnologia de rastreamento solar aumentaram a produção de energia por unidade instalada.
- **Economias de Escala:** O aumento da demanda global levou à produção em massa, reduzindo os custos de fabricação.
- **Cadeias de Suprimento Competitivas:** A globalização e a competitividade entre fornecedores contribuíram para a diminuição dos preços dos componentes.

Em 2020, mesmo diante dos desafios impostos pela pandemia, a energia solar fotovoltaica demonstrou resiliência. Foram adicionados 127 GW de nova capacidade solar, representando um aumento de 22% em relação ao ano anterior. Esse crescimento solidifica a posição da energia solar como líder nas adições de capacidade renovável global.

Além disso, a competitividade da energia solar em relação aos combustíveis fósseis tornou-se evidente. Em muitos casos, o custo de novos projetos solares é inferior ao de manter usinas a carvão existentes, tornando a energia solar não apenas uma escolha ambientalmente responsável, mas também economicamente vantajosa.

O Brasil, com sua abundante incidência solar, está em posição privilegiada para aproveitar esses avanços. A adoção crescente da energia fotovoltaica no país não só contribui para a diversificação da matriz energética, mas também promove o desenvolvimento sustentável e a geração de empregos verdes.

2º Momento – Conceitos fundamentais: Semicondutores e bandas de energia

- **Semicondutores:**
- Materiais que não são nem condutores como os metais, nem isolantes como a borracha.
- Exemplo principal: Silício (Si).

- Quando puro, o silício é pouco condutor, mas ao ser dopado (adição de impurezas controladas), torna-se um ótimo semicondutor.
- Condutores, Semicondutores, Isolantes e Supercondutores: Propriedades Elétricas dos Materiais

A compreensão das propriedades elétricas dos materiais é fundamental para diversas áreas da ciência e da engenharia. Os materiais podem ser classificados como condutores, isolantes, semicondutores ou supercondutores, de acordo com sua capacidade de conduzir corrente elétrica. Essa condutividade está diretamente relacionada à estrutura eletrônica dos átomos e à liberdade de movimento dos elétrons.

Condutores

Condutores são materiais que apresentam alta condutividade elétrica devido à presença de elétrons livres na camada de valência. Esses elétrons podem se mover facilmente sob a ação de um campo elétrico.

- Exemplos: cobre, alumínio, prata, ouro.
- Aplicações: cabos de energia, circuitos elétricos, conectores.

Segundo Tipler & Mosca (2009), o cobre é o material mais utilizado em instalações elétricas por apresentar boa condutividade e custo acessível.

Isolantes

Isolantes são materiais que não conduzem eletricidade com facilidade, pois seus elétrons estão fortemente ligados aos núcleos atômicos e não podem se mover livremente.

- Exemplos: vidro, borracha, plástico, cerâmica.
- Aplicações: revestimento de fios, bases de tomadas, dispositivos de segurança.

De acordo com Halliday, Resnick & Walker (2011), isolantes possuem resistividade muito alta, impedindo o fluxo de corrente elétrica em condições normais.

Semicondutores

Semicondutores são materiais com condutividade intermediária entre condutores e isolantes. Sua condutividade pode ser manipulada por fatores externos, como temperatura, luminosidade ou adição de impurezas (dopagem).

- Exemplos: silício, germânio, arseneto de gálio.
- Aplicações: transistores, diodos, células solares, circuitos integrados.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2022), os semicondutores são a base da tecnologia fotovoltaica, pois permitem a conversão direta da luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico.

Supercondutores

Supercondutores são materiais que, abaixo de uma determinada temperatura crítica, apresentam resistência elétrica nula e expulsão do campo magnético interno (efeito Meissner). Isso significa que a corrente elétrica pode circular indefinidamente sem perda de energia.

- Exemplos: nióbio, compostos cerâmicos como $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (ítrio-bário-cobre-óxido).
- Aplicações: trens de levitação magnética (maglev), equipamentos de ressonância magnética, linhas de transmissão sem perdas.

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a American Physical Society, o uso de supercondutores pode revolucionar a transmissão de energia elétrica ao eliminar perdas por aquecimento, especialmente em países com longas linhas de distribuição.

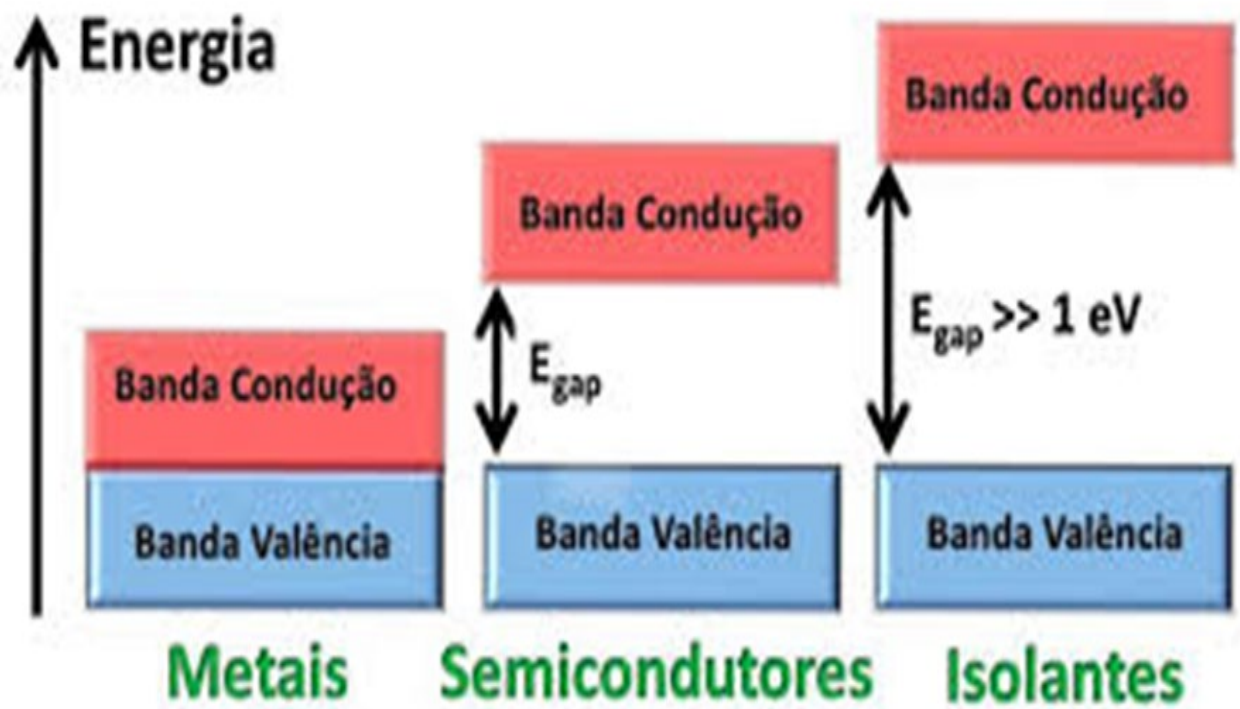
A classificação dos materiais em condutores, isolantes, semicondutores e supercondutores é essencial para entender sua aplicação em tecnologias modernas, como eletrônica, energia solar e transporte. O avanço no estudo desses materiais impulsiona a inovação em áreas estratégicas da ciência e da engenharia.

Bandas de energia:

Nos átomos, os elétrons ocupam níveis de energia organizados em “bandas”. Em um sólido, temos:

- Banda de valência: onde estão os elétrons ligados.

- Banda de condução: onde os elétrons podem se mover livremente, gerando corrente elétrica.
- O espaço entre essas duas bandas é chamado de gap (lacuna ou band gap).
- Nos metais, esse gap não existe.
- Nos isolantes, o gap é muito grande.
- Nos semicondutores, o gap é pequeno o suficiente para que a luz consiga “empurrar” elétrons da banda de valência para a de condução.



<https://images.app.goo.gl/73ihCZWcVwzNnxiG8>

Teoria de Bandas de Energia: Fundamentos e Aplicações

A Teoria de Bandas de Energia descreve como os elétrons se organizam nos sólidos e é essencial para compreender a condutividade elétrica dos materiais. Ela surge da Mecânica Quântica, que mostra que os elétrons em um átomo ocupam níveis de energia discretos. Quando os átomos se unem para formar um sólido, esses níveis interagem e se transformam em bandas contínuas de energia.

Estrutura de Bandas em Sólidos

Nos sólidos, especialmente os cristalinos, os elétrons ocupam duas bandas principais:

- Banda de Valência: última banda completamente preenchida por elétrons.
- Banda de Condução: banda logo acima da banda de valência; é onde os elétrons podem se mover livremente, permitindo a condução elétrica.

Entre essas bandas, existe uma região chamada:

- Band Gap (Lacuna de Energia): é a diferença de energia entre o topo da banda de valência e a base da banda de condução.

O comportamento elétrico dos materiais depende do tamanho dessa lacuna:

Tipo de material	Band Gap	Comportamento elétrico
Condutores (metais)	Zero ou sobreposição	Elétrons livres, condução imediata
Semicondutores	~1 a 3 eV	Conduzem sob certas condições
Isolantes	> 3 eV	Não conduzem facilmente

Condutores

Nos metais, a banda de valência e a banda de condução se sobrepõem ou a banda de valência está parcialmente cheia. Assim, existem elétrons livres disponíveis mesmo à temperatura ambiente, permitindo a condução elétrica imediata.

Isolantes

Em isolantes, a lacuna de energia é muito grande (> 3 eV). Os elétrons da banda de valência não conseguem alcançar a banda de condução com a energia térmica comum, impedindo a condução.

Semicondutores

Os semicondutores possuem uma lacuna de energia moderada (cerca de 1 a 3 eV). Em temperatura ambiente, parte dos elétrons pode ganhar energia suficiente (térmica ou luminosa) para saltar da banda de valência para a de condução.

Dopagem:

- Tipo N: dopado com átomos que doam elétrons (como fósforo), criando mais elétrons livres.
- Tipo P: dopado com átomos que aceitam elétrons (como boro), criando lacunas (cargas positivas móveis).

Esses dois tipos de semicondutores são a base da formação da junção p-n, essencial para o funcionamento de diodos, transistores e células fotovoltaicas.

Aplicação no Efeito Fotovoltaico

Quando um fóton (partícula de luz) com energia igual ou maior que a band gap atinge um semicondutor (ex: silício), ele pode excitar um elétron da banda de valência para a banda de condução, criando um par elétron-lacuna. Se houver um campo elétrico (como na junção p-n), esses portadores são separados, gerando uma corrente elétrica — este é o efeito fotovoltaico.

Supercondutores e Bandas

Nos supercondutores, a teoria tradicional de bandas é complementada pela Teoria BCS, que explica que, abaixo da temperatura crítica, os elétrons formam pares (pares de Cooper) e se movem sem resistência. A lacuna de energia aqui não é a mesma do band gap dos semicondutores — é uma energia associada à quebra desses pares.

A Teoria de Bandas de Energia é a base para o entendimento da condutividade elétrica e das tecnologias modernas, como células solares, computadores e dispositivos eletrônicos. Ela conecta a física quântica à engenharia elétrica e é indispensável no estudo da energia fotovoltaica.

3º Momento – Funcionamento de uma célula solar

Como a luz gera eletricidade:

- A célula solar é feita de uma junção p-n: camadas de silício dopado com fósforo (tipo n) e boro (tipo p).
- A luz solar incide sobre a célula.

- A energia da luz (fótons) excita elétrons, que saltam do estado ligado (banda de valência) para o estado livre (banda de condução).
- Essa movimentação de elétrons e lacunas gera uma diferença de potencial.
- Um circuito externo é conectado, permitindo que a corrente elétrica flua: é a energia elétrica que usamos.
- A Estrutura Cristalina dos Semicondutores
- A estrutura cristalina é a organização ordenada e repetitiva dos átomos em um sólido.

Nos semicondutores, essa estrutura tem papel crucial na determinação das propriedades elétricas, térmicas e ópticas. A maioria dos semicondutores de uso tecnológico, como o silício (Si) e o germânio (Ge), cristaliza no sistema cúbico de face centrada, com uma estrutura conhecida como estrutura tipo diamante.

Estrutura Tipo Diamante

Essa estrutura é formada quando cada átomo de silício ou germânio realiza ligações covalentes com quatro átomos vizinhos, formando uma geometria tetraédrica. Esse arranjo garante estabilidade e simetria ao cristal.

- Cada átomo compartilha um elétron com cada vizinho, totalizando quatro ligações covalentes.
- A célula unitária do silício contém 8 átomos efetivos.
- A distância entre os átomos (parâmetro de rede) é da ordem de 0,357 nm para o silício.

Importância da Estrutura Cristalina

A regularidade da estrutura cristalina permite que os orbitais atômicos se sobreponham, formando bandas de energia contínuas, como discutido na teoria de bandas. Alterações nessa estrutura — como defeitos, impurezas ou dopagem — afetam diretamente a condutividade do semicondutor.

- Em um semicondutor intrínseco (puro), a estrutura cristalina é quase perfeita.

- Em um semicondutor dopado, átomos estranhos ao retículo são inseridos para alterar suas propriedades elétricas (doadores ou aceitadores de elétrons).

Silício Monocristalino vs. Policristalino

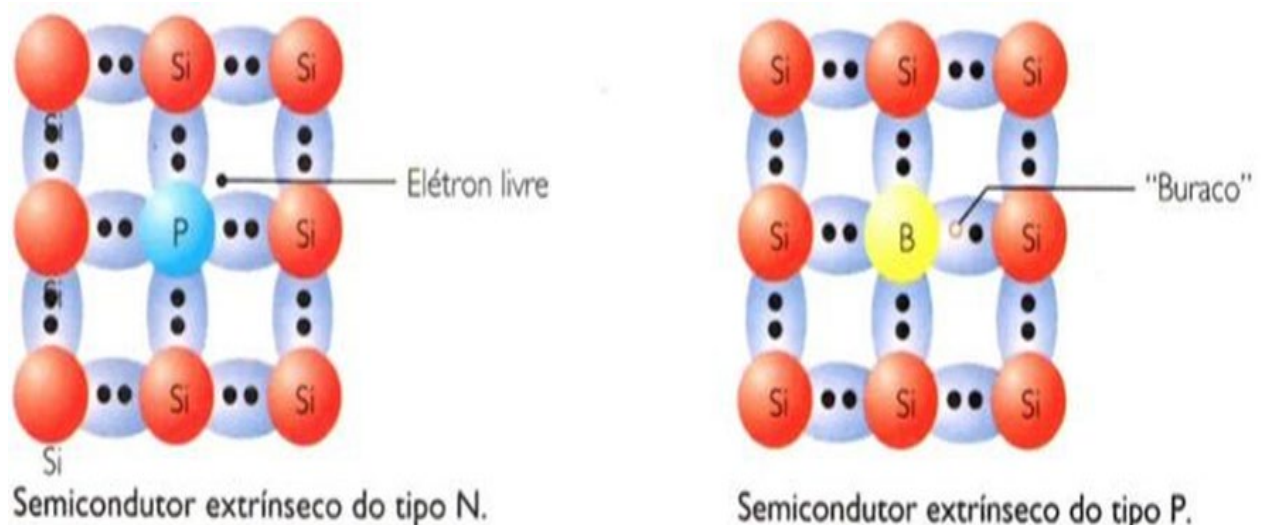
Esses dois tipos de organização cristalina são muito usados em painéis solares:

- Silício monocristalino: toda a estrutura do material é um único cristal contínuo. Apresenta alta eficiência de conversão de energia e maior custo de produção.
- Silício policristalino: é composto por diversos pequenos cristais, com junções chamadas "fronteiras de grão". Tem eficiência menor, mas é mais barato de produzir.

Relevância para a Energia Solar Fotovoltaica

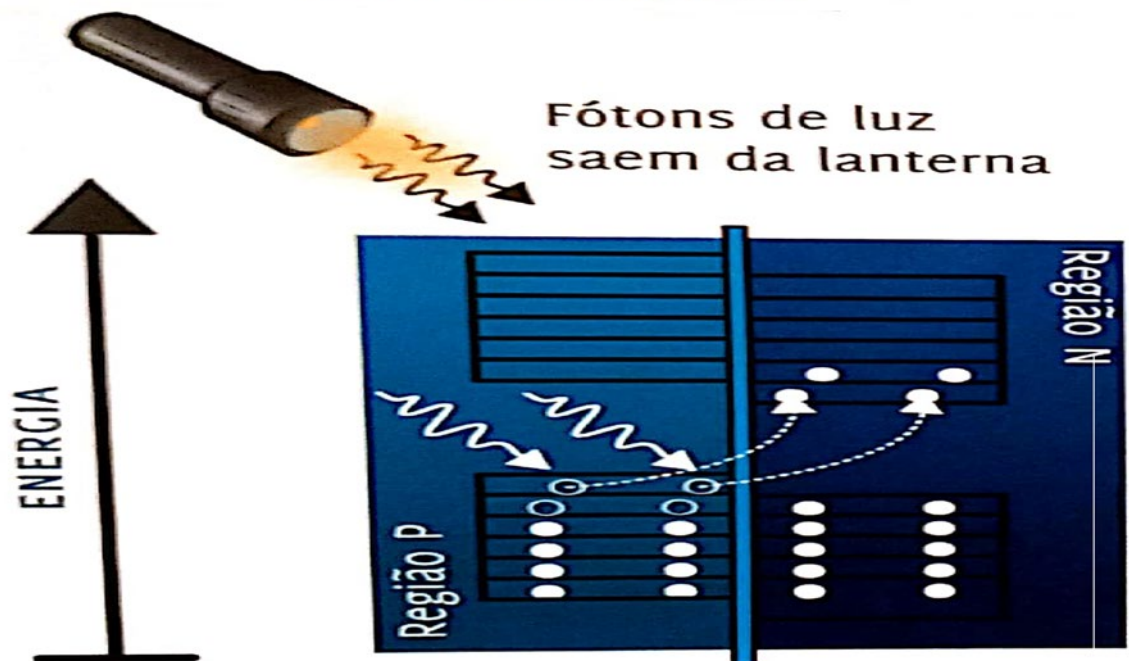
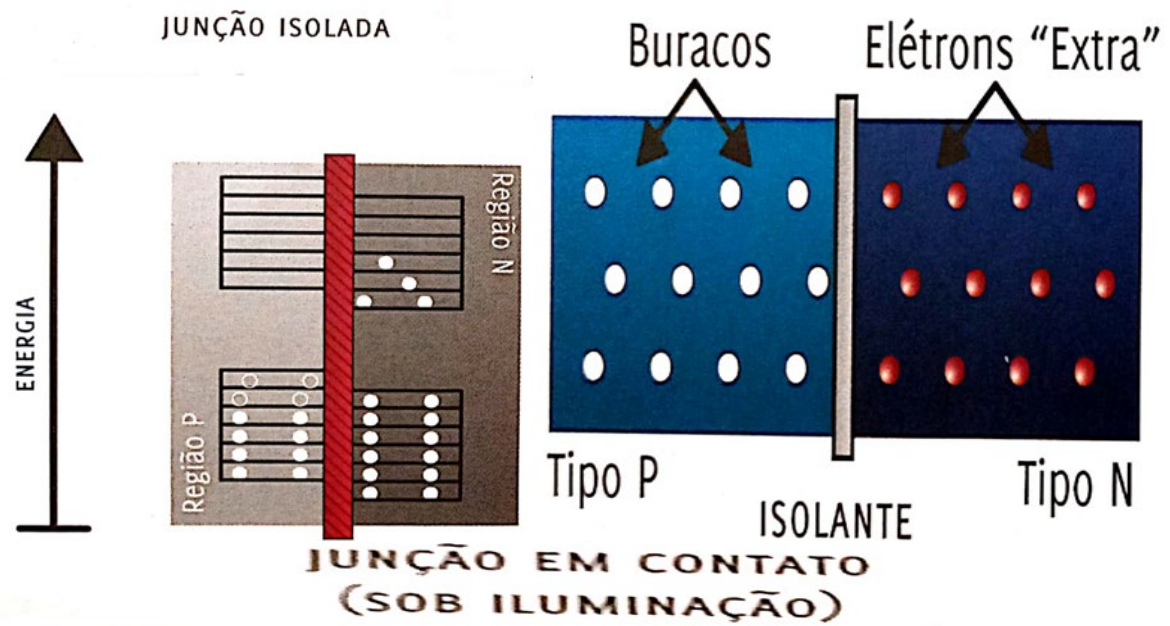
A estrutura cristalina perfeita do silício monocristalino permite que os elétrons gerados pela luz solar se movam com menos obstáculos, aumentando a eficiência das células solares. Por isso, a indústria fotovoltaica investe fortemente em técnicas de crescimento cristalino (como o processo Czochralski) para obter cristais de alta pureza e uniformidade.

A estrutura cristalina é um aspecto determinante nas propriedades dos semicondutores. No contexto da energia solar, compreender essa estrutura permite melhorar a produção de células fotovoltaicas mais eficientes e acessíveis, contribuindo para o avanço da energia limpa e sustentável.



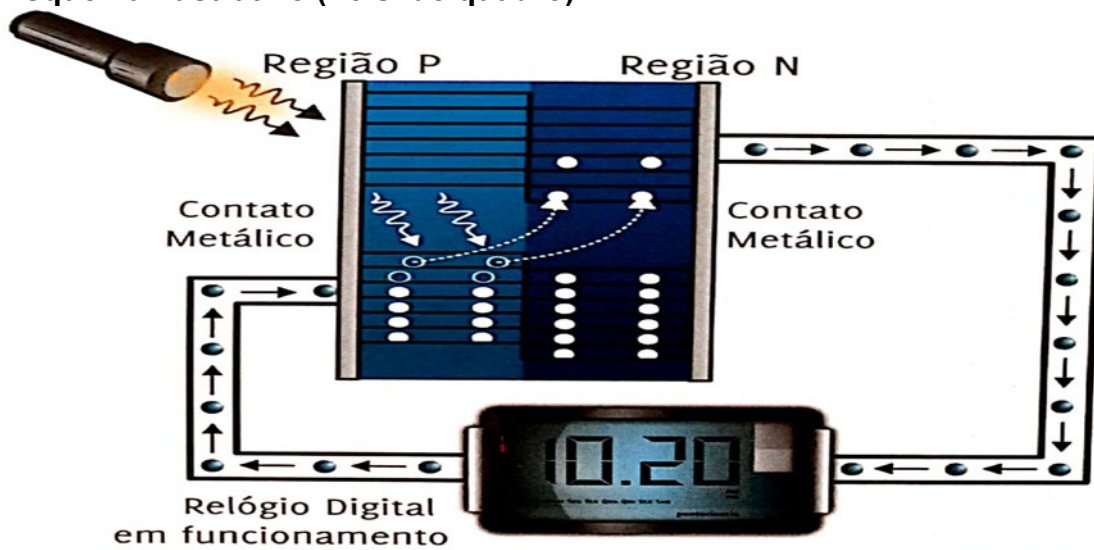
<https://www.coladaweb.com/wp-content/uploads/2015/09/semicondutores-tipos.jpg>

Junção PN

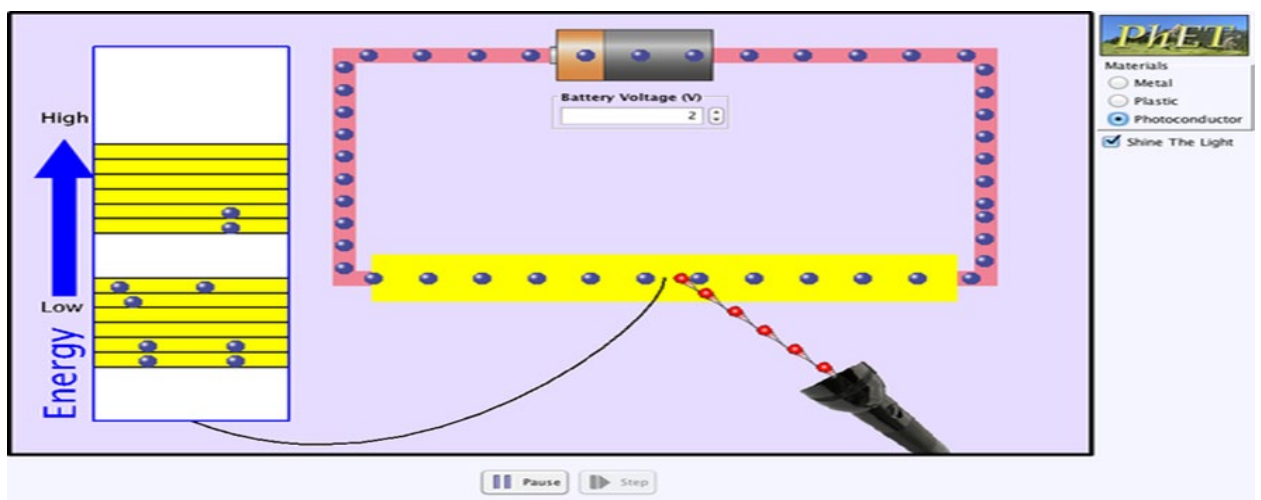


Fótons de luz transferem energia para elétrons que assim podem ocupar níveis de energia mais altos. Os elétrons excitados pela luz acabam por ocupar níveis de energia mais altos que inicialmente estavam vazios na região N e por deixar buracos em níveis mais baixos na situados na região P.

Esquema ilustrativo (no slide/quadro):



Quando um fio externo é conectado aos lados N e P, o lado N poderá ceder elétrons para o lado P. Os elétrons que inicialmente ocupam níveis de energia mais altos do lado N, transferem energia para o relógio, e passam a ocupar níveis mais baixos de energia do lado P. Ao chegarem lá, podem receber energia novamente dos fótons e voltar ao lado N, reiniciando o processo.



https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt_BR.

4º Momento – Vídeo e visualização

Exibir vídeo curto mostrando o funcionamento interno de uma célula solar;

Comentar o vídeo como funciona uma usina solar.

Como funciona uma usina solar #boravê – disponível em

https://www.youtube.com/watch?v=_w1nqt7az8c;

APÊNDICE E - O POTENCIAL SOLARIMÉTRICO DO NORTE DE MINAS GERAIS

PLANO DE AULA

- 5° aula Etapa da sequência: Aplicação contextualizada e análise de dados
- Duração: 50 minutos
- Tema: Potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais

HABILIDADES

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

OBJETIVO GERAL

Analisar o potencial solarimétrico do Norte de Minas Gerais por meio de dados, gráficos e mapas solares, promovendo a reflexão sobre a viabilidade técnica e social do uso da energia solar na região.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Interpretar gráficos e mapas solares com dados reais da irradiação solar;
- Compreender a distribuição da radiação solar na região Norte de Minas;
- Relacionar os dados obtidos com a viabilidade da implementação de sistemas fotovoltaicos;
- Estimular o pensamento crítico sobre políticas públicas e acesso à energia limpa na região.

RECURSOS DIDÁTICOS

- Projetor multimídia (Imagens e gráficos de mapas solares do INPE, Atlas Solarimétrico.
- Quadro branco e marcadores

DESENVOLVIMENTO DA AULA

1º Momento – Introdução ao tema

- Perguntar aos alunos: “Vocês acham que nossa região tem sol suficiente para gerar energia elétrica?”
- Mostrar a localização da cidade no mapa do estado e destacar que essa aula irá analisar dados reais sobre a quantidade de sol que recebemos por dia/ano.
- Potencial Solar do Norte de Minas Gerais e a Influência da Serra do Espinhaço no Clima Regional

O Norte de Minas Gerais destaca-se por seu elevado potencial para a geração de energia solar fotovoltaica, resultado de condições climáticas favoráveis, como alta incidência de radiação solar e baixos índices pluviométricos. A região apresenta uma média anual de radiação solar global horizontal entre 5,5 e 6,0 kWh/m²/dia, valores superiores à média nacional, conforme indicado no Atlas Solarimétrico de Minas Gerais. Um dos fatores geográficos que contribuem para essas condições é a presença da Serra do Espinhaço, uma cadeia montanhosa que se estende pelo estado de Minas Gerais até a Bahia. Com altitudes que podem ultrapassar 2.000 metros, essa formação atua como uma barreira orográfica, influenciando diretamente o clima da região.

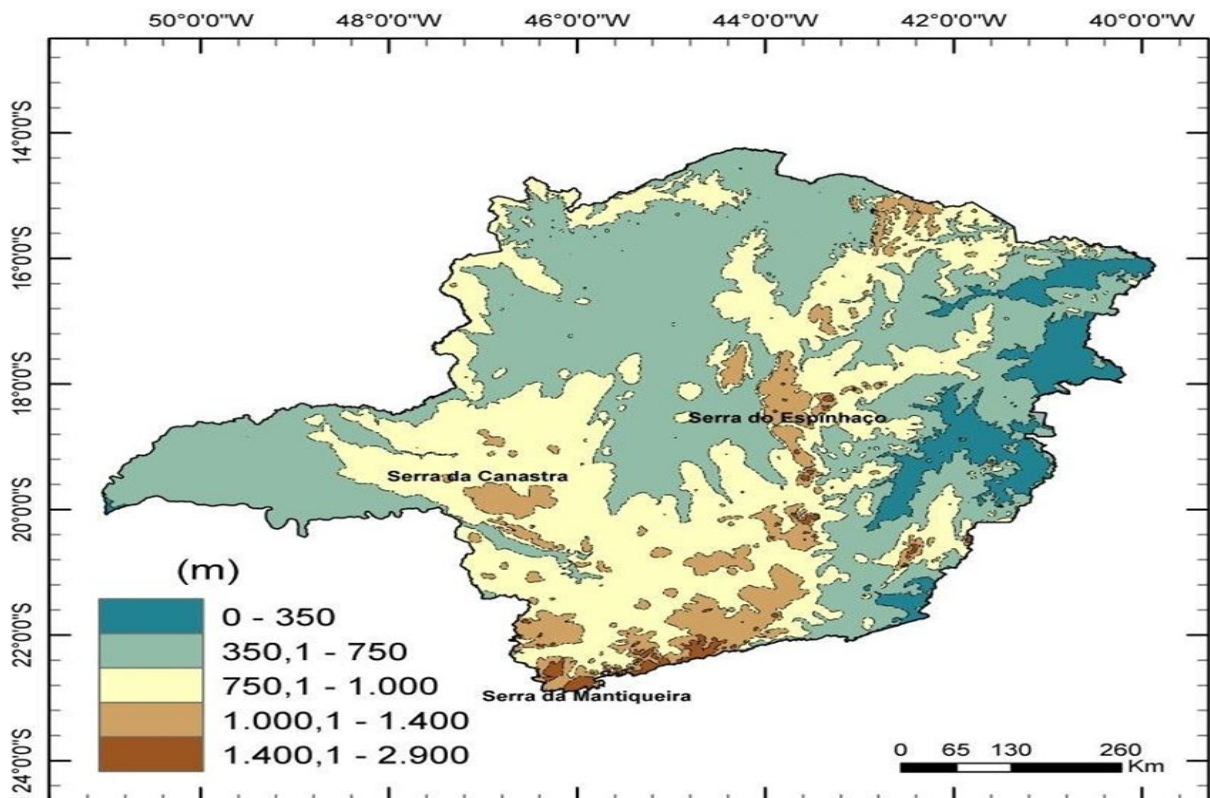
Barreira às Frentes Frias

A Serra do Espinhaço interfere na dinâmica atmosférica ao dificultar a penetração de frentes frias provenientes do Oceano Atlântico para o interior do estado. Essas frentes, ao encontrarem a barreira montanhosa, perdem força e umidade, resultando em menor incidência de chuvas e manutenção de temperaturas elevadas no norte mineiro. Essa configuração climática, caracterizada por longos períodos de estiagem e alta insolação, favorece a implementação de sistemas de energia solar, tornando a região propícia para investimentos no setor fotovoltaico.

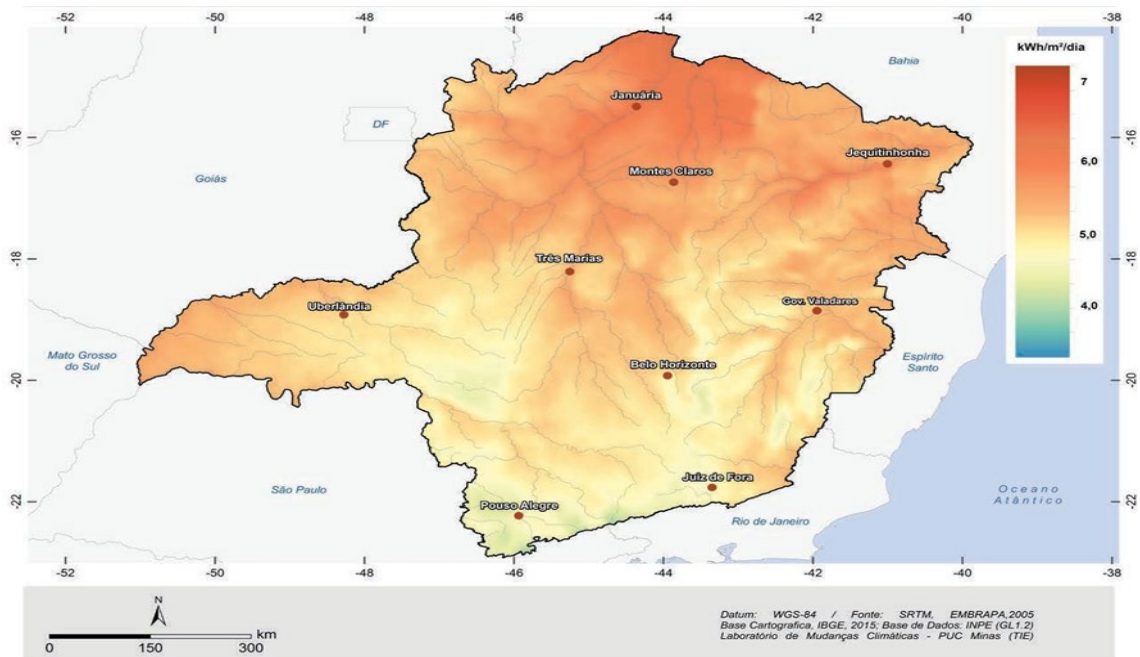
Implicações para a Energia Solar

A combinação de alta radiação solar e baixa nebulosidade proporciona condições ideais para a geração de energia solar no norte de Minas Gerais. Além disso, a topografia relativamente plana em diversas áreas facilita a instalação de parques solares em larga escala.

Essas características posicionam a região como estratégica para o desenvolvimento de projetos de energia renovável, contribuindo para a diversificação da matriz energética e o desenvolvimento socioeconômico local.



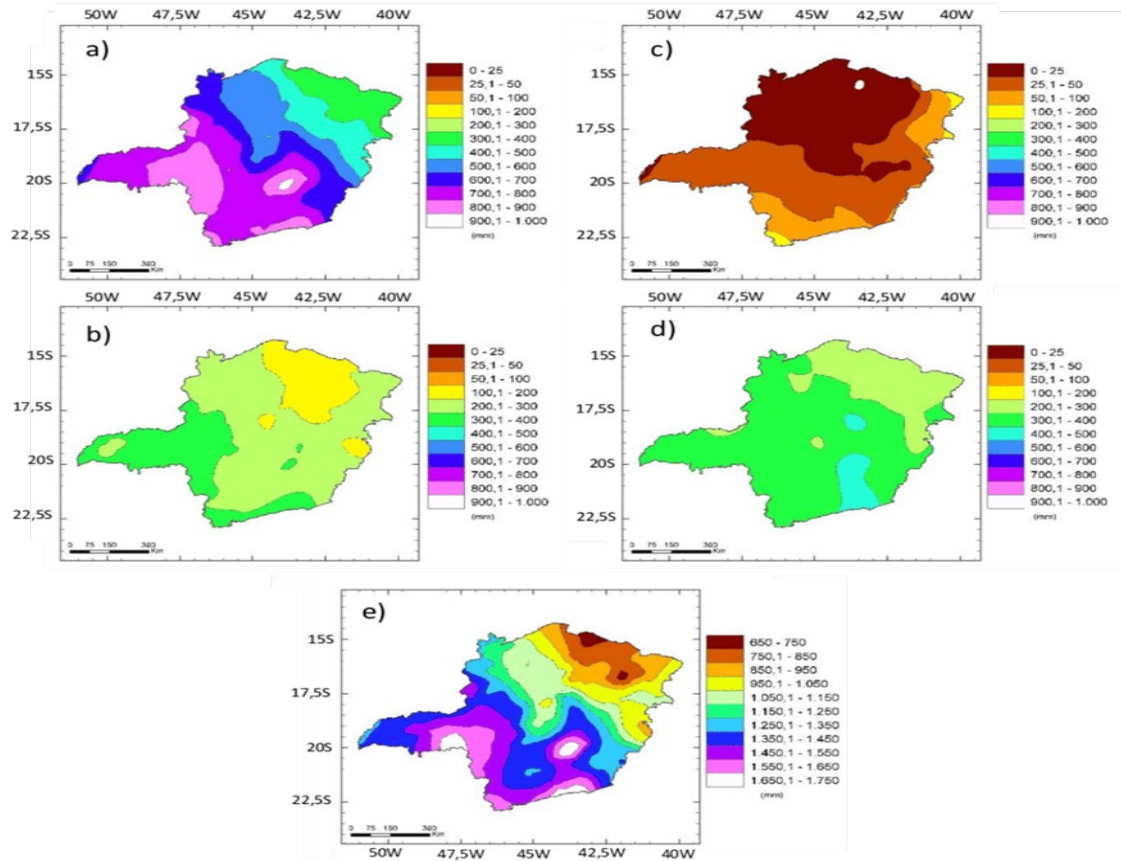
Mapa hipsométrico (metros) do estado de Minas Gerais, com indicações das serras da Canastra, do Espinhaço e da Mantiqueira. Dados obtidos do United States Geological Survey (USGS).



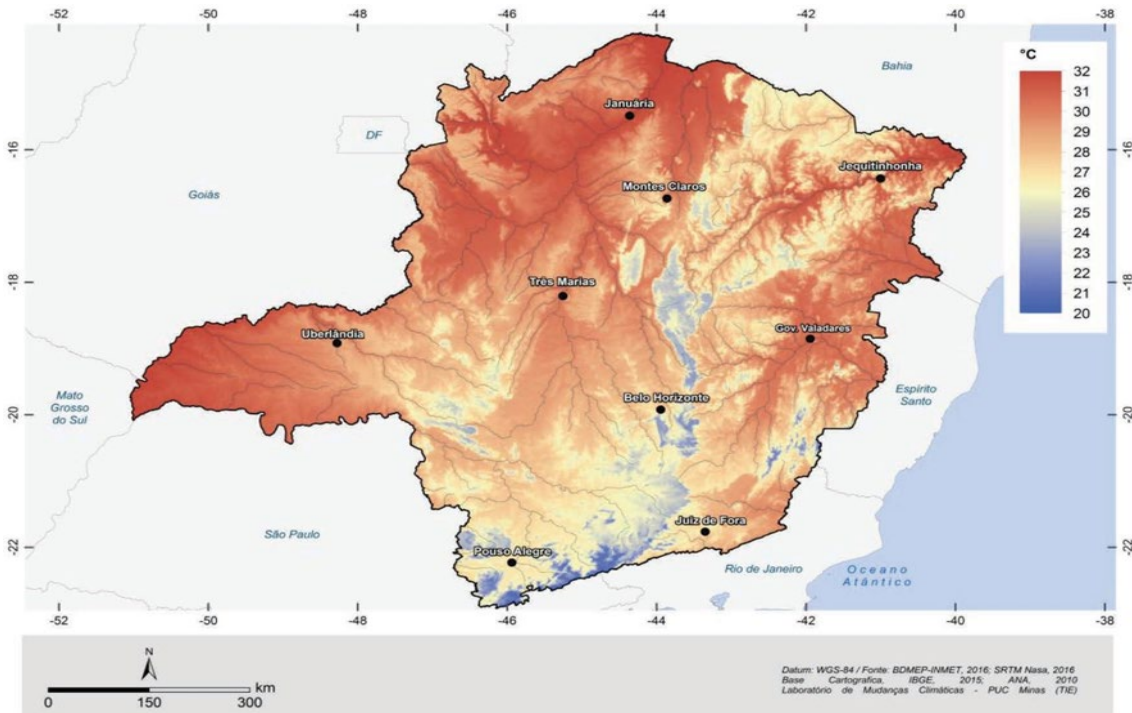
Fonte: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/03/atlas-solarimetrico-vol-i-mg.pdf>
Radiação Solar em Minas Gerais

2º Momento – Apresentação dos dados solarimétricos

- Apresentar um mapa solarimétrico de Minas Gerais com foco no Norte de Minas
- Destacar as cores no mapa e o que significam (índice de radiação solar em kWh/m²/dia).
- Mostrar gráficos com médias mensais de irradiação solar da cidade de Espinosa-MG e cidades próximas.
- Explicar que, com base nesses dados, é possível dimensionar sistemas fotovoltaicos residenciais e comunitários.

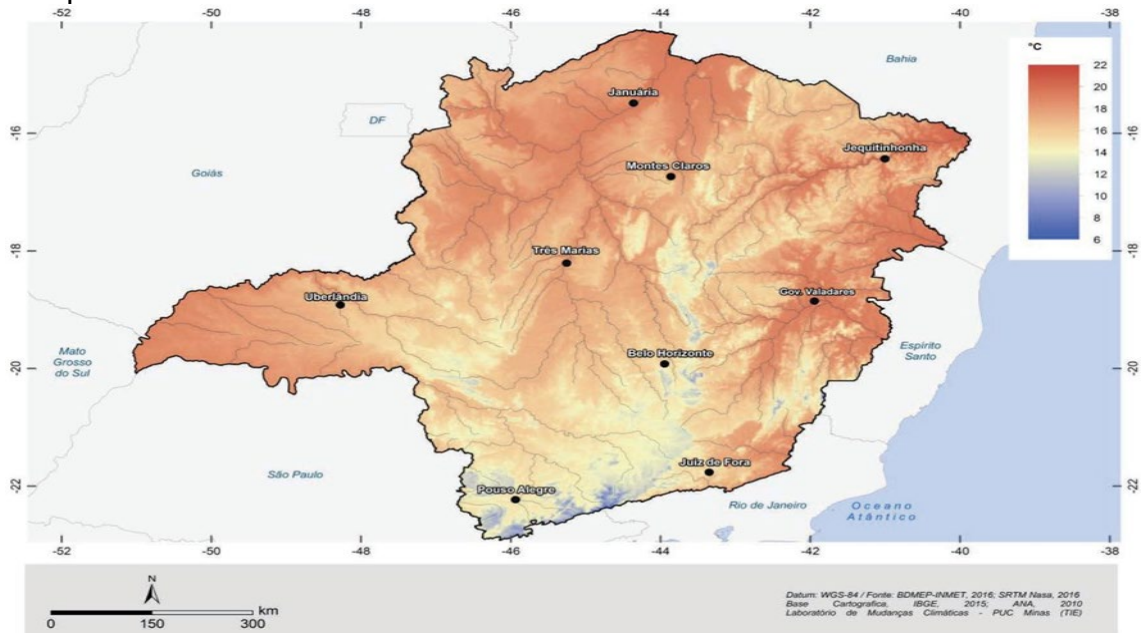


Precipitação (mm) média sazonal e anual em Minas Gerais no período de 1998 a 2012: a) verão, b) outono, c) inverno, d) primavera e e) média anual.
 Temperatura máxima média anual em Minas Gerais



Fonte: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/03/atlas-solarimetrico-vol-i-mg.pdf>

Temperatura mínima média anual em Minas Gerais



Fonte: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/03/atlas-solarimetrico-vol-i-mg.pdf>

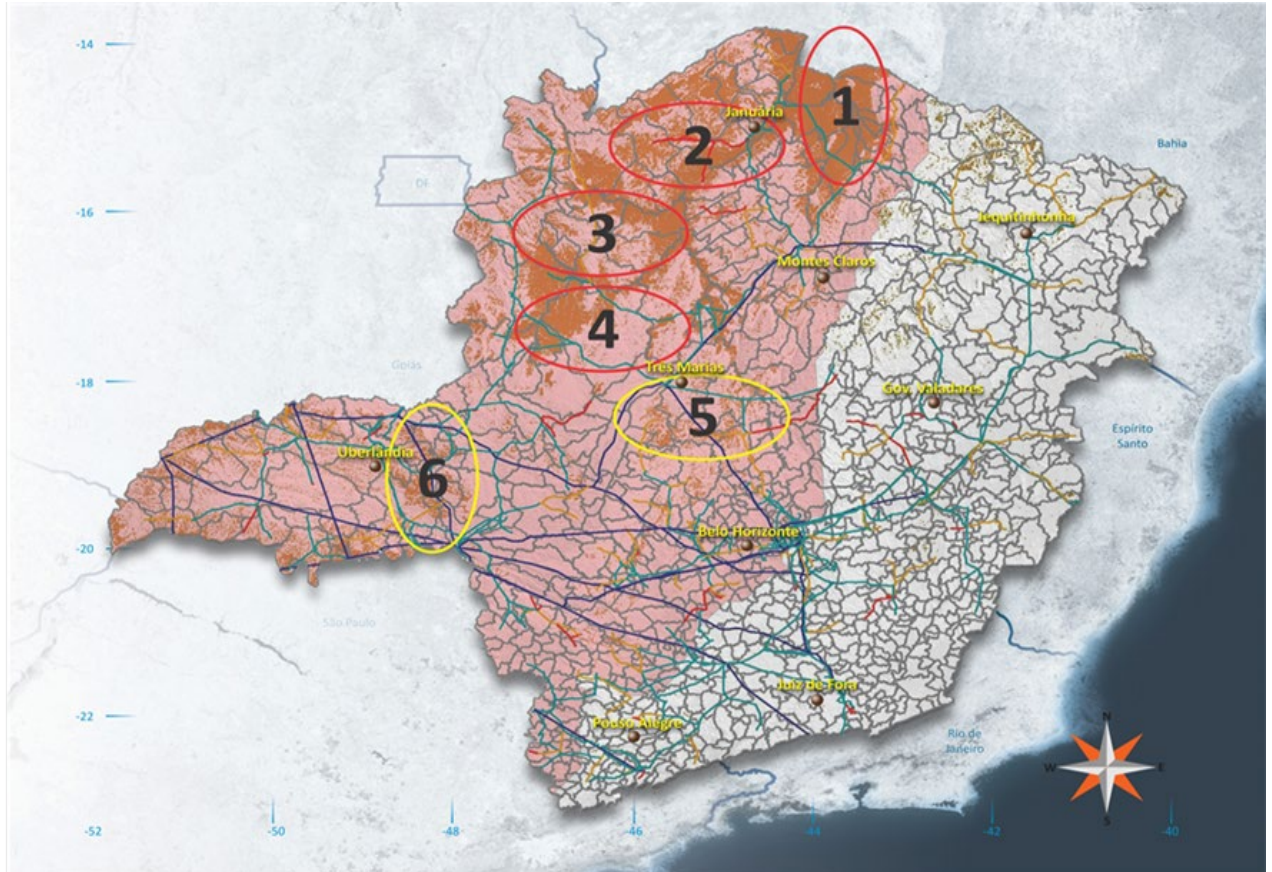
3º Momento – Interpretação e análise dos gráficos

Distribuir (ou projetar) uma tabela com os seguintes dados:

Mesorregiões	Média Anual (kWh/kWp)	Média Anual - PR
Norte	1489	0,8
Noroeste	1469	0,8
Central de Minas	1407	0,8
Triângulo Mineiro	1400	0,8
Jequitinhonha	1364	0,79
Oeste	1341	0,79
Mucuri	1323	0,79
Metro BH	1322	0,79
Rio Doce	1309	0,8
Sul/Sudoeste	1287	0,79
Campo das Vertentes	1279	0,78
Zona da Mata	1258	0,79
Média Anual Estado MG	1354	0,79

- Discussão orientada:
- Em quais meses a irradiação é maior?
- Esses valores são suficientes para gerar energia elétrica?
- Como isso se compara com outras regiões do país?

Regiões promissoras de Minas Gerais segundo intersecções de irradiação solar direta diária, declividade e linhas de transmissão.



Fonte: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/03/atlas-solarimetrico-vol-i-mg.pdf>

4º Momento – Debate sobre a viabilidade

Perguntas norteadoras:

- Se temos tanto sol, por que a energia solar ainda não é comum em todas as casas?
- Quais são os desafios? (Custo, investimento inicial, falta de informação)
- E as oportunidades? (Economia, geração de emprego, preservação ambiental)

Reflexão crítica:

- Como políticas públicas ou incentivos podem mudar essa realidade?
- Existe espaço nas escolas, prédios públicos ou casas para instalação de painéis?

APÊNDICE F - AULA PRÁTICA: APRESENTAÇÃO DE UMA MINI PLACA FOTOVOLTAICA

PLANO DE AULA

- 6° aula Etapa da sequência: Experimentação prática e consolidação dos conceitos.
- Duração: 50 minutos.
- Tema: Demonstração prática do funcionamento de uma célula solar fotovoltaica.

HABILIDADES.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

OBJETIVO GERAL

Proporcionar aos alunos uma experiência prática com uma mini placa fotovoltaica, observando seu funcionamento e relacionando com os conceitos estudados sobre o

efeito fotovoltaico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Demonstrar como a energia solar pode ser convertida em eletricidade;
- Relacionar o funcionamento prático da placa com os conceitos teóricos de bandas de energia e junção p-n;
- Estimular a curiosidade e o espírito investigativo por meio da experimentação;
- Refletir sobre a aplicabilidade da energia solar em diferentes contextos.

RECURSOS DIDÁTICOS

- Mini painel solar fotovoltaico;
- Multímetro (para medir tensão e corrente gerada).
- Pequenos motores DC ou LEDs (para mostrar o acionamento com energia solar).
- Papel, lápis e régua (para anotações e montagem de esboços).
- Quadro branco para explicações.
- Celular com sensor de luz (opcional, para medir intensidade luminosa).

DESENVOLVIMENTO DA AULA

1º Momento – Introdução e revisão rápida

- Retomar os conceitos do efeito fotovoltaico, funcionamento da célula solar e bandas de energia.
- Mostrar o mini painel e explicar brevemente seu funcionamento.

2º Momento – Demonstração

- Expor o mini painel solar à luz do sol;
- Ligar o painel a um LED ou motor pequeno para demonstrar o funcionamento;
- Conectar um multímetro para medir a tensão (V) e a corrente (A) geradas;
- Perguntar: “O que acontece com a tensão quando tapamos o painel?”
- “E se mudarmos o ângulo em relação à luz?”

3º Momento – Atividade prática em grupo

- Divisão dos grupos e proposta:

- Dividir a turma em grupos.
- Cada grupo deve:
- Medir a tensão do painel em diferentes ângulos.
- Medir com e sem sombra.
- Registrar os dados em uma tabela simples.
- Esboçar um gráfico relacionando intensidade luminosa com tensão gerada.
- Orientação do professor:
- Circular entre os grupos, tirar dúvidas, reforçar os conceitos.

4º Momento – Discussão e reflexão

Debater com os alunos:

- “O que vocês observaram? ”
- “A luz solar realmente pode ser uma fonte eficiente de energia?”
- “Quais foram os fatores que interferiram na geração de energia?”

5º Momento – Conclusão e registro

- Concluir destacando o potencial prático do conhecimento científico.
- Solicitar que os alunos escrevam um pequeno parágrafo com o título: “O que aprendi hoje sobre energia solar”.

APÊNDICE G - REAPLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO LIKERT E DISCUSSÃO FINAL

PLANO DE AULA

- 7º aula Etapa da sequência: Avaliação pós-intervenção e sistematização.
- Duração: 50 minutos.
- Tema: Avaliação da aprendizagem e reflexão final sobre o uso da energia solar.

HABILIDADES

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

OBJETIVO GERAL

Avaliar as mudanças na percepção, nos conhecimentos e nas atitudes dos alunos em relação ao efeito fotovoltaico e à energia solar no contexto regional, comparando os resultados iniciais com os finais.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a evolução do conhecimento dos alunos após a sequência didática;
- Estimular a autorreflexão sobre o aprendizado adquirido;
- Identificar possíveis lacunas conceituais ainda existentes;
- Promover uma discussão coletiva sobre os aprendizados e perspectivas futuras.

RECURSOS DIDÁTICOS

- Cópias impressas do mesmo questionário likert aplicado na Aula 01.
- Quadro branco e marcadores.
- Computador e projetor (opcional, para comparar resultados).

DESENVOLVIMENTO DA AULA

1º Momento – Acolhimento e contextualização

- Relembre brevemente a jornada da sequência didática: o que foi estudado, experimentado e discutido.
- Explique aos alunos que será reaplicado o questionário para que eles mesmos percebam o quanto evoluíram.

2º Momento – Reaplicação do questionário likert.

- Entregar o mesmo questionário aplicado na Aula 01 (com as 15 afirmações).
- Reforçar que não há certo ou errado, e que o objetivo é perceber o crescimento individual.
- Dar tempo adequado para preencher com calma.

3º Momento – Comparação e análise

- Pedir que cada aluno compare mentalmente suas respostas com as da primeira aplicação (ou entregar a versão anterior, se possível).
- Levantar questões como:
- Você percebe alguma mudança em suas respostas?
- Você se sente mais confiante em relação ao tema?
- Alguma resposta sua mudou de "neutro" para "concordo muito"? Por quê?

4º Momento – Discussão em grupo

- Roda de conversa com perguntas norteadoras:
- O que mais te chamou atenção ao longo da sequência?
- O que foi mais difícil de entender? E o que ficou mais claro agora?
- Você vê a energia solar como uma possibilidade real para a sua comunidade?
- Como a ciência pode ajudar a melhorar a qualidade de vida na nossa região?
- Qual foi o momento mais marcante dessas aulas?