UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 45

Gabriela Peterson Vargas Rosa

Uso de situações potenciais para desenvolvimento do ensino sobre energia solar fotovoltaica na óptica da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud

Dourados
2026

Gabriela Peterson Vargas Rosa

Uso de situações potenciais para desenvolvimento do ensino sobre energia solar fotovoltaica na óptica da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud

Dissertação apresentada ao Polo 45 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal da Grande Dourados como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Dr. Fábio Alencar dos Santos

Dourados
2026

RESUMO

Esta dissertação investiga a aplicação da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud no ensino de física, com foco no campo da energia solar fotovoltaica, visando superar a passividade cognitiva e promover o engajamento discente através de situações contextualizadas. O objetivo geral consistiu em desenvolver, aplicar e avaliar um produto educacional no formato de uma sequência didática (SD) fundamentada na referida teoria, estruturada para induzir a evolução dos esquemas e invariantes operatórios dos estudantes. A metodologia adotada possui natureza qualitativa, configurando-se como um estudo de caso longitudinal realizado com 19 estudantes de uma turma de segundo ano do Ensino Médio. O percurso didático foi organizado em situações potenciais de aprendizagem que incluíram levantamento dos conhecimentos prévios via questionário e jogo interativo, conceitualização teórica, prática experimental instrumentalizada com multímetros e relatórios de síntese para a tomada de consciência. A análise dos dados baseou-se na estruturação de níveis de conceitualização e na identificação de conceitos e teoremas-em-ação, permitindo acompanhar a reorganização cognitiva dos sujeitos ao longo de quatro situações principais. Os resultados demonstraram a erradicação completa da base intuitiva de Nível 1, caracterizada pela ausência de esquemas científicos, e uma migração maciça de 89,5% da amostra para os níveis de integração parcial e sistêmica (N3 e N4). Destaca-se a ruptura definitiva com o obstáculo epistemológico térmico, no qual os estudantes associavam a geração solar puramente ao calor da placa, sendo essa mudança impulsionada pelo confronto empírico durante a atividade prática. A transição da forma operatória para a forma predicativa do saber revelou o desenvolvimento de uma linguagem técnica estável e a capacidade de articular variáveis geográficas, físicas e econômicas em justificativas coerentes. O trabalho evidencia ainda o potencial inclusivo da proposta ao apresentar resultados significativos na alfabetização científica de estudantes do público da educação especial. Conclui-se que a variação sistemática de situações didáticas diferenciadas é essencial para a consolidação de campos conceituais complexos, validando a TCC como um referencial robusto para a promoção da autonomia técnica e da cidadania no ensino de ciências.

Palavras-chave: ensino de física; Teoria dos Campos Conceituais; energia solar fotovoltaica; sequência didática.

ABSTRACT

This dissertation investigates the application of Gérard Vergnaud's Theory of Conceptual Fields (TCF) in physics teaching, with a focus on the field of photovoltaic solar energy, aiming to overcome cognitive passivity and promote student engagement through contextualized situations. The general objective consisted of developing, applying, and evaluating an educational product in the format of a didactic sequence (DS) based on the referred theory, structured to induce the evolution of students' schemas and operational invariants. The adopted methodology is qualitative in nature, taking the form of a longitudinal case study conducted with 19 students from a second-year high school class. The didactic path was organized into potential learning situations that included a survey of prior knowledge via questionnaire and interactive game, theoretical conceptualization, instrumentalized experimental practice with multimeters, and synthesis reports for gaining awareness. Data analysis was based on the structuring of conceptualization levels and the identification of concepts-in-action and theorems-in-action, allowing the monitoring of the subjects' cognitive reorganization throughout four main situations. The results demonstrated the complete eradication of the Level 1 intuitive base, characterized by the absence of scientific schemas, and a massive migration of 89.5% of the sample to the levels of partial and systemic integration (N3 and N4). A definitive break with the thermal epistemological obstacle stands out, in which students associated solar generation purely with the panel's heat, this change being driven by empirical confrontation during the practical activity. The transition from the operative form to the predicative form of knowledge revealed the development of a stable technical language and the ability to articulate geographical, physical, and economic variables in coherent justifications. The work also highlights the inclusive potential of the proposal by presenting significant results in the scientific literacy of students from the special education public. It is concluded that the systematic variation of differentiated didactic situations is essential for the consolidation of complex conceptual fields, validating TCF as a robust framework for the promotion of technical autonomy and citizenship in science education.

Keywords: physics teaching; Theory of Conceptual Fields; photovoltaic solar energy; didactic sequence.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1- Mapa conceitual para a teoria dos campos conceituais. 22
Figura 2 – Espectro eletromagnético 26
Figura 3 – Diagrama de Bandas de Energia e mecanismos de conversão. 27
Figura 4 – Irradiância Espectral Solar: Topo da Atmosfera vs. Superfície. 29
Figura 5 – Mecanismos de perda quântica e eletrônica: (1) Perda por termalização da rede, (2) Perda por transparência, (3) Perda por recombinação e (4) Perda na junção P-N. 30
Figura 6 – Vista explodida da composição de um módulo fotovoltaico. 34
Figura 7 – Corte transversal e funcionamento da célula fotovoltaica. 35
Figura 8 – Estudantes durante a aplicação do questionário inicial 57
Figura 9 – Registros dos estudantes durante o jogo didático no Kahoot. 81
Figura 10 – Registros dos estudantes A1, A5 realizadas na conceitualização. 85
Figura 11 – Registros dos estudantes A7, A19 realizadas na conceitualização. 87
Figura 12 – Registros dos Post-it na retomada da aplicação após 2 meses. 91
Figura 13 – Nuvem de palavras sobre os conceitos levantados na lembrança estimulada. 92
Figura 14 – Kit organizado para realização da prática. 93
Figura 15 – Registros de momentos da prática. 94

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Sistematização de pesquisas sobre Energia Solar e TCC (2019-2025).....38
Quadro 2 - Cronograma e Conexão Teórica da Sequência Didática.....49
Quadro 3– Aplicação do produto educacional 51
Quadro 4 - Frequência dos estudantes durante as etapas da Sequência didática.....53
Quadro 5 – Dados coletas dos levantamentos prévios da temática – Bloco 1: Fontes de Energia renováveis e não renováveis.....59
Quadro 6 – Dados coletas dos levantamentos prévios da temática – Bloco 2: Geração de energia solar no Brasil. 65
Quadro 7 – Dados coletas dos levantamentos prévios da temática – Bloco 3: Funcionamento do efeito fotovoltaico.....70
Quadro 8 – Dados coletas dos levantamentos prévios da temática – Bloco 4: Geração de energia solar no Brasil. 74
Quadro 9 – Jogo didático – Perguntas e respostas utilizadas. 80
Quadro 10 – Dados das questões fechadas da etapa de conceitualização. 88
Quadro 11 – Organização dos Grupos e Síntese da Prática Experimental.....95
Quadro 12 – Percepção quantitativa dos estudantes sobre a aula de conceitualização (Questão 3).....100
Quadro 13 - Níveis de Evolução Conceitual e sua Associação com Zoller 125
Quadro 14: Classificação do Desenvolvimento Cognitivo na Situação 1 (Diagnóstico).....128
Quadro 15: Desenvolvimento Cognitivo na Situação 2 (Conceitualização) 131
Quadro 16 – Comparação quantitativa entre os níveis cognitivos atingidos nas situações 1 e 2. 132
Quadro 17: Desenvolvimento Cognitivo e Invariantes na Situação 3 (Prática Experimental) 135
Quadro 18 – Comparação quantitativa entre os níveis cognitivos atingidos nas S1, S2 e S3. 137
Quadro 19: Desenvolvimento Cognitivo e Invariantes na Situação 4 (Síntese Final) 139
Quadro 20 – Comparação quantitativa entre os níveis cognitivos atingidos nas S1, S2, S3 e S4. 141
Quadro 21 – Evolução Longitudinal de Conceitualização (S1 a S4) 142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
BEN	Balança Energético Nacional
TCC	Teoria dos Campos Conceituais
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
HOCS	Higher-Order Cognitive Skills
LOCS	Lower-Order Cognitive Skills

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
1.1 OBJETIVOS 15
2. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS DE ENSINO E APRENDIZAGEM 17
2.1. Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud 17
2.1.1 Conexões e diferenciações entre Vergnaud e teóricos da aprendizagem 17
2.1.2 Campo conceitual 19
2.1.3 Estrutura do Conceito: Tripleto (S, I, R) 19
2.1.4 Esquema 21
2.2. Habilidades cognitivas e níveis de análise – Zoller 22
3. CONCEITUALIZAÇÃO FÍSICA 24
3.1. Energia e sua conservação 24
3.2. Fóton e a quantização da luz 25
3.3. Irradiância e o Espectro Eletromagnético. 28
3.4. Princípios Ópticos, Fatores de Perda e Eficiência na Conversão Fotovoltaica 30
3.5. Efeito Fotovoltaico 32
3.6. Tecnologia e Funcionamento dos Módulos Fotovoltaicos 33
3.7. Cálculos para Geração e Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos 36
4. REVISÃO DE LITERATURA 38
5. METODOLOGIA 46
5.1. Metodologia de ensino 46
5.1.1. Fundamentação da Sequência Didática (SD) 47
5.1.2. Estrutura e Organização da Sequência 48
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES 50
6.1. Contexto e sujeitos da pesquisa 50
6.2. Instrumentos de Coleta e Constituição dos Dados 54
6.3. Aplicação da sequência didática 55
6.3.1. Aula 1 – Levantamento dos conhecimentos prévios - precursores 56
6.3.2. Aula 2 – Jogo didático para conhecimentos prévios – Kahoot 79
6.3.3. Aula 3 e 4 - Conceitualização 82
6.3.4. Aula 5 e 6 – Lembrança estimulada e Prática. 90
6.3.5. Aula 7 – Palestra 95
6.3.6. Aula 8 – Relatório final 97
6.4. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS 124
6.4.1. Análise do Desenvolvimento Cognitivo: Invariantes e Esquemas 125
6.4.1.1. Situação 1 – Questionário dos levantamentos prévios. 127

6.4.1.2. Situação 2 – Questionário após a aula de conceitualização. 130
6.4.1.3. Situação 3 – Relatório de prática 134
6.4.1.4. Situação 4 – Relatório final 138
6.4.2. Análise das situações 144
6.4.2.1. Levantamento de conhecimentos Prévios (Questionário) 144
6.4.2.2. Situação Mobilizadora (Jogo Kahoot) 145
6.4.2.3. Aula Conceitual (Slides, Questionário e Fichamento) 145
6.4.2.4. Ação da lembrança estimulada (Post-it após dois meses) 145
6.4.2.5. Prática Experimental (Confronto e Ruptura) 145
6.4.2.6. Palestra Técnica (Contexto Socioténico Real) 146
6.4.2.7. Relatório Final 146
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 147
REFERÊNCIAS 150
APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL 155

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Física na Educação Básica enfrenta há décadas, inúmeros desafios, entre os quais se destaca a dificuldade dos estudantes na compreensão dos conceitos físicos e na mobilização de esquemas explicativos para interpretar fenômenos do cotidiano. Um dos principais desafios consiste em superar uma abordagem tradicional, centrada na memorização mecânica de fórmulas, do qual associa a parte matemática a física, o que frequentemente transfere para o ensino de Física as dificuldades apresentadas pelos estudantes na área matemática. Nesse contexto, o ensino, por vezes, restringe-se à resolução de exercícios e à preparação para avaliações, sem que haja efetiva compreensão dos conceitos físicos envolvidos.

Essa perspectiva reducionista contribui para que o componente curricular seja percebido como difícil e desinteressante, resultando, por vezes, em rejeição por parte dos estudantes. Tal cenário torna o ensino de Física no Ensino Médio particularmente desafiador, exigindo estratégias pedagógicas que despertem o interesse dos estudantes e promovam uma aprendizagem verdadeiramente significativa. Essa dificuldade está, em grande parte, relacionada à forma como os conteúdos são apresentados: frequentemente descontextualizados da realidade dos estudantes e com forte ênfase em formalismos matemáticos, em detrimento da compreensão conceitual e contextualizada dos fenômenos físicos (Moreira, 2021).

Diante desse cenário, torna-se necessária a adoção de abordagens pedagógicas que conectem o conhecimento científico à vida cotidiana. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) – documento normativo que orienta a elaboração dos currículos escolares no Brasil - destaca que o ensino de Ciências da Natureza deve promover a formação de sujeitos críticos, conscientes e capazes de tomar decisões informadas em relação às questões científicas, tecnológicas, ambientais e sociais (BRASIL, 2018). A Física, enquanto componente curricular dessa área, deve contribuir com a formação de competências específicas da área que envolvam o uso de conceitos científicos, a disseminação da linguagem científica no Ensino Médio para a resolução de problemas reais, considerando diferentes contextos e dimensões da vida em sociedade.

Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica apresenta-se como um campo conceitual fértil para a integração de conceitos da Física Moderna com as demandas contemporâneas de sustentabilidade. A urgência global por fontes limpas, consolidado pelo 7º Objetivo de Desenvolvimento sustentável (ODS 7), impulsiona o setor fotovoltaico no Brasil, que vivencia

uma expansão história na matriz energética nacional (BEN – EPE, 2025). Entretanto, observa-se um hiato entre o avanço tecnológico do setor e sua efetiva incorporação ao ensino de Física, especialmente no que se refere à transposição didática dos conceitos envolvidos para a sala de aula.

Este trabalho emerge da articulação entre minha formação inicial em Engenharia de energia e minha atuação como professora de Física. Enquanto engenheira, percebo a complexidade das variáveis envolvidas na geração fotovoltaica, tais como irradiância, gap de energia e eficiência térmica e óptica. Como docente, identifico a dificuldade dos estudantes em compreender a Física aplicada à geração de energia solar fotovoltaica. Esse processo exige a superação de uma "física espontânea", isto é, concepções construídas a partir de vivências cotidianas. No contexto deste estudo, observa-se, por exemplo, a recorrente associação equivocada de que o calor do Sol é o principal responsável pela geração de energia, quando, na realidade, o processo está relacionado à radiação solar e a fenômenos físicos em nível microscópico que explicam a geração de corrente elétrica (França, 2023). A motivação deste trabalho reside, portanto, na necessidade de promover a transposição desses saberes para o ambiente escolar, tornando o ensino de Física capaz de dialogar com a realidade tecnológica que circunda os estudantes.

Nesse sentido, busca-se um referencial teórico que sustente a construção de propostas didáticas voltadas à compreensão conceitual. A Teoria dos Campos Conceituais, proposta por Gérard Vergnaud, apresenta-se como um aporte consistente, ao enfatizar o desenvolvimento de propostas de competências complexas por meio da resolução de situações-problema que favorecem a mobilização e a reorganização de esquemas.

Segundo Vergnaud (1982), o conhecimento organiza-se em campos conceituais cujo desenvolvimento ocorre ao longo do tempo, por meio da vivência de diversas situações e experiências. Assim, os conceitos não se desenvolvem de forma isolada, mas integram um campo conceitual mobilizado em diferentes situações que exigem do sujeito a articulação sustentada pelo tripleto: situações (S), que confere sentido ao conceito; invariantes operatórios (I) (conceitos e teoremas-em-ação), que representam o conhecimento implícito do sujeito; e representações simbólicas (R), que possibilitam a explicitação e organização do saber, de forma a modificar esquemas e dar sentido a conceitos. A aprendizagem ocorre quando o estudante é confrontado com situações desafiadoras que lhe exigem a mobilização de diferentes conhecimentos em um processo ativo de significação (Moreira, 2002).

De acordo com Vergnaud (1998, p 181) cabe ao professor atual como mediador, promover situações potenciais significativas que favoreçam o desenvolvimento conceitual. Assim, propõe-se investigar como o uso de situações fundamentadas na Teoria dos Campos Conceituais pode contribuir para a compreensão de conceitos relacionados à energia solar fotovoltaica no Ensino Médio.

A energia solar fotovoltaica permite abordar diversos conceitos da Física, como energias renováveis, potência, transformações energéticas, eletricidade, radiação solar, conceitos ópticos de luminosidade, de forma integrada e aplicada para além da sala de aula, mas na vivência do cotidiano. Assim, ao explorar esse tema por meio de situações didáticas contextualizadas, pretende-se verificar modos de tornar o ensino de Física mais atrativo, promovendo maior interesse e participação dos estudantes na construção do conhecimento científico, que possa ser mediado pelo professor e verificado através da pesquisa de ensino com base da Teoria dos Campos Conceituais.

Moreira (2002) evidencia que a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, inicialmente aplicada ao ensino de Matemática, também pode fundamentar o ensino de Ciências Naturais, especialmente, na análise das dificuldades dos estudantes em termos de invariantes operatórios mobilizados na resolução de problemas. Moreira (2020) defende a necessidade de repensar o ensino de Física, superando o tradicionalismo, adotando abordagens que considerem os conhecimentos prévios dos estudantes e favoreçam a construção ativa do conhecimento para assim promover interesse pela aprendizagem da física e o entendimento da importância da conceitualização.

Dessa forma, este trabalho busca verificar se a aplicação da Teoria dos Campos Conceituais, por meio de situações contextualizadas envolvendo energia solar fotovoltaica, pode promover maior interesse e engajamento dos estudantes por meio da aplicação da Teoria dos Campos Conceituais no ensino da Física utilizando-se situações contextualizadas, com foco no estudo do conceito de energia solar fotovoltaica. A investigação pretende, ainda, identificar fatores que contribuem para o êxito ou dificultam sua implementação em sala de aula.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo geral:

- Desenvolver e aplicar um produto educacional no formato de uma sequência didática (SD), fundamentada na Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Vergnaud, utilizando situações potenciais sobre Energia Solar Fotovoltaica para evidenciar o potencial da teoria no desenvolvimento do conhecimento científico dos estudantes.

Para concretizar o objetivo geral, segue os objetivos específicos deste trabalho:

- Analisar a aplicação da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Vergnaud como referencial metodológico e pedagógico para o ensino de tópicos de Física Moderna e Contemporânea;
- Mapear o desenvolvimento dos invariantes operatórios (I) dos estudantes ao longo da sequência, organizando tal desenvolvimento de níveis estruturados de cognição;
- Gerar e analisar situações potenciais de aprendizagem (S) que funcionem como indutores do processo de significação, permitindo aos estudantes que vivenciem ações que deem sentido aos novos conceitos;
- Promover a transição da forma operatória para a forma predicativa do conhecimento, incentivando os estudantes a explicitar e justificar seus esquemas de ação por meio da linguagem natural e representações simbólicas (R) durante toda a sequência didática;
- Estabelecer conexão entre situações educativas e o contexto profissional real do setor de energia solar, aproximando o conhecimento escolar da prática da engenharia e das demandas sociotécnicas de sustentabilidade (ODS 7);
- Envolver os estudantes em atividades práticas que estimulem o desenvolvimento do pensamento científico.

Para finalizar esta etapa introdutória, e descrever o percurso investigativo, apresenta-se a organização estrutural desta dissertação, dividida em capítulos que articulam a pesquisa no ensino de física com a prática docente.

No segundo capítulo, dedicado aos Pressupostos Teóricos de Ensino e Aprendizagem, detalha-se o marco teórico da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud e

toda conexão pertinente a análise teórica pedagógica de ensino realizada nessa dissertação. Aborda-se a importância das situações como porta de entrada para o conhecimento, a formação de esquemas e a evolução dos invariantes operatórios. Integra-se, neste capítulo, uma matriz de análise fundamentada no desenvolvimento de habilidades cognitivas, classificando-as entre habilidades de baixa ordem (LOCS) e de alta ordem (HOCS), permitindo referenciar os níveis de evolução conceitual dos invariantes operatórios dos estudantes identificados durante a pesquisa.

O terceiro capítulo compreende o referencial Conceitual de Física, onde são explorados os fundamentos da radiação solar, a natureza quântica do fóton, o gap de energia em materiais semicondutores e o mecanismo do efeito fotovoltaico. Também são discutidos os fatores ópticos e geométricos que influenciam diretamente a eficiência da geração de energia.

No quarto capítulo, realiza-se uma Revisão de Literatura, sistematizando artigos e dissertações que tratam da temática da energia solar e do uso da TCC no ensino de Ciências, estabelecendo as conexões e as lacunas que motivaram este estudo.

O quinto capítulo detalha a Metodologia, enfatizando o caráter da pesquisa translacional, que busca a transposição de pressupostos teóricos para situações reais de sala de aula por meio da breve descrição acerca do produto educacional. Nesta seção, retomam-se de forma direta o problema, os objetivos e as hipóteses levantadas, descrevendo os sujeitos da pesquisa — estudantes de uma escola pública — e os instrumentos de coleta e análise de dados, que incluem questionários diagnósticos, jogos, atividades experimentais, palestras técnicas e o relatório final de síntese.

O sexto capítulo dedica-se à apresentação dos Resultados e Discussão, onde se analisa qualitativamente a evolução dos esquemas dos estudantes, identificando rupturas com o senso comum e a consolidação de conhecimentos científicos sob a ótica interpretativa de Vergnaud.

Por fim, as Considerações Finais sintetizam os principais achados do trabalho, avaliando em que medida as situações potenciais propostas contribuíram para a alfabetização científica e para a formação de sujeitos conscientes acerca das questões energéticas e ambientais contemporâneas.

2. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS DE ENSINO E APRENDIZAGEM

2.1. Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud

A fundamentação teórica desta dissertação ancora-se na teoria dos campos conceituais (TCC), proposta e desenvolvida por Gérard Vergnaud, matemático, filósofo e psicólogo francês. A TCC propõe um referencial cognitivista que coloca a conceituação do real no centro do desenvolvimento intelectual, permitindo localizar e analisar continuidades e rupturas na formação do conceito (Vergnaud, 1990).

Essa teoria oferece subsídios para compreender o processo de aprendizagem não como uma transmissão mecânica, mas como uma construção lenta e gradual pautada na ação do sujeito. Pois como Vergnaud (1990) descreve, o conhecimento está organizado em campos conceituais, e o sujeito sofre a apropriação destes campos ao longo do tempo, através de experiências variadas, a maturidade e a aprendizagem. Ele elucida a definição de campo conceitual como sendo um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, relações, estruturas, conceitos, conteúdos e operações de pensamento, associados uns aos outros e interligados durante o processo de aquisição de conceitos.

Então, se tem que a base da aprendizagem fundamenta-se na organização e solidificação de um conceito, que por base da teoria, ocorre de forma lenta e gradual, e por meio de situações desafiadoras e diferentes ao longo da vida.

A TCC representa uma alternativa teórica complexa para o enfrentamento das dificuldades observadas em sala de aula, pois vai além da simples transmissão de conteúdos formalizados. Nesse sentido, destaca-se a importância dos campos conceituais e da capacidade de abstração dos saberes, de modo que estes possam ser contextualizados à realidade dos estudantes.

2.1.1 Conexões e diferenciações entre Vergnaud e teóricos da aprendizagem

Gérard Vergnaud, discípulo de Jean Piaget – orientador de doutorado, desenvolveu sua teoria a partir de uma crítica construtiva ao seu mentor. Vergnaud (2017a) se conecta aos pressupostos de Piaget e reconhece como pilares fundamentais a ideia de adaptação, desequilíbrio e reequilíbrio para a investigação didática para o ensino de ciências e matemática. Além disso, ancorada no conceito de esquema desenvolvido por Piaget, define a ideia de invariante operatório, uma das bases de sua teoria. Porém Vergnaud apresenta como principal

diferenciação, a organização da estrutura da formação de esquemas, que ao invés do foco piagetiano do sujeito epistêmico passa as estruturas lógicas gerais com o funcionamento do cognitivo do sujeito-em-ação (Irineu et al, 2022).

No entendimento de Vergnaud, Piaget compreendeu que o desenvolvimento cognitivo depende de situações e de conceitualizações específicas para que sejam adquiridas. Ao enaltecer a importância do trabalho de Piaget, Vergnaud, argumenta que Piaget não atuou em sala de aula ensinando matemática e ciência, e isso não trouxe à sua teoria as percepções presentes na TCC (Moreira, 2002). Vergnaud afirma que ao interessarmos por aquilo que se passa na sala de aula, temos a obrigação de nos interessar pelo conteúdo do conhecimento (Vergnaud, 1996a).

Simultaneamente, a TCC é atribuída a pontos do legado de Vygotsky, reconhecendo que o domínio de um campo conceitual é mediado pela interação social, pela linguagem e pela simbolização, pontos centrais da Teoria de Vygotsky (Moreira, 2002; Vergnaud, 2009). A mediação pedagógica é essencial, e o professor deve atuar não apenas como transmissor de conhecimento, mas como provocador de situações, organizando experiências que conduzam o estudante à construção gradual de novos esquemas e conceitos. Como enfatiza Vergnaud, citado por Moreira (2002), os conceitos tornam-se significativos através de uma variedade de situações, e não por meio da sua simples formalização.

Vergnaud afirma que um dos grandes problemas do ensino é desenvolver de forma simultânea e completa a forma operatória (saber-fazer) e a forma predicativa (saber explicitar o saber por meio da linguagem) (Vergnaud, 1993). Logo, podemos associar a importância da interação social na forma operatória, e o linguagem e a simbolização para o desenvolvimento da forma predicativa, associando ao tripleto da teoria TCC – situações, invariantes operatórios e representação simbólica.

A TCC também apresenta compatibilidade com a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel. Vergnaud discorre o sentido que sua teoria facilita a aprendizagem significativa ao focar na progressividade dos conceitos e no papel determinante dos invariantes operatórios prévios como os subsunçores, nomeados também como precursores na TCC. A evolução conceitual ocorre por meio da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora, processos dinâmicos que reorganizam a estrutura cognitiva do estudante (Vergnaud, 2007). Contudo, as relações entre o conhecimento espontâneo e o científico na óptica da Teoria dos Campos Conceituais é observada por uma lente mais refinada, pois vai

além da aquisição de conteúdos formais, e se propõe a compreender o funcionamento cognitivo nos processos de resolução de problemas e conceitualização.

2.1.2 Campo conceitual

Um campo conceitual é definido como conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas e operações de pensamento que se conectam durante o processo de aquisição (Moreira, 2002). Diferente de um conceito isolado, que deve ser ensinado de forma separada, o campo conceitual precisa ser estabelecido sobre uma análise sistêmica baseada em premissas fundamentais (Rocha, 2020), sendo elas:

- O conceito não se forma de apenas um único tipo de situação; o sentido é construído pelo enfrentamento de diversas situações potenciais, sendo papel do professor proporcionar tais situações.
- Uma situação não se analisa apenas um conceito, mas ela mobiliza múltiplos conhecimentos interligados. A análise única e isolada é ineficaz, pois ignora as conexões que são realizadas entre os conceitos e esquemas formados pelos estudantes.
- A concretização das propriedades de um conceito exige um processo contínuo, desenvolvido ao longo de meses ou anos. Esse processo é marcado por analogias, rupturas e pela articulação com conhecimentos prévios, ou seja, com saberes precursores já formados.

Para Vergnaud, o campo conceitual constitui uma unidade de estudo que permite compreender as dificuldades observadas na conceitualização do real; ou seja, a TCC tem como essência o desenvolvimento cognitivo por meio da construção de conceitos (Moreira, 2011).

2.1.3 Estrutura do Conceito: Tripleto (S, I, R)

Para Vergnaud (1990), um conceito não pode ser reduzido a uma definição formal ou dicionarizada. A formação de conceito de uma habilidade complexa, vai além da simples compreensão. O conceito na TCC é constituído por um conjunto interdependente, denominado tripleto (S, I, R) (Vergnaud, 1983, 1993, 2017b):

Situações (S): A referente. Conjunto de tarefas ou problemas que conferem sentido ao conceito, são a "porta de entrada" para a conceitualização. Para a formação de um conceito é necessária uma variedade de situações.

As situações por si só não compõem o conceito, no entanto, moldam a maneira como sujeito se correlaciona, e forma os significantes. Segundo Moreira (2002), a ação mais importante do professor-mediador é possibilitar situações oportunas que devem ser escolhidas cuidadosamente, privilegiando a diversificação, e organização. O domínio de um campo conceitual requer a exposição contínua a diferentes situações, pois é justamente a partir da variedade de experiências que os conceitos se tornam significativos. Por isso, é inadequado tentar ensinar conceitos isoladamente ou de forma meramente expositiva, desconsiderando o papel central das situações e sua conexão com o real.

Invariantes operatórios (I): O significado. Conhecimentos contidos nos esquemas que permitem ao sujeito extrair informação do real e agir de forma eficaz durante as situações. Os invariantes operatórios são divididos em duas categorias: conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação (Vergnaud, 1990; Moreira, 2002; Plaisance e Vergnaud, 2003).

O conceito-em-ação é definido como um objeto, um predicado ou uma categoria de pensamento que o sujeito julga relevante para organizar a informação em uma situação. Seu papel é a seleção e identificação, permite que o estudante reconheça elementos conhecidos no ambiente.

Diferente dos teoremas-em-ação que são tidos como proposições em que se tem o valor como verdadeiro ou falso, o conceito-em-ação é avaliado apenas quanto ao seu contexto (Vergnaud, 1996b; Moreira, 2002). Por exemplo, no campo da eletricidade, conceitos como "tensão" ou corrente" são categorias que o estudante mobiliza para analisar um circuito (Weil-Barais e Vergnaud, 1990; Sousa e Fávero, 2002). Para este trabalho os conceitos-em-ação são: calor, energia solar, renovável, fóton, energia, geração e a forma como o estudante relaciona esses conceitos para definir a geração de energia solar.

O teorema-em-ação é uma proposição tida como verdadeira pelo estudante sobre o real em um determinado momento de sua ação (Vergnaud, 1996b). Como definido o conceito identifica, e o teorema permite o raciocínio e a inferência. O teorema faz relações entre os conceitos que possibilitam ao estudante tomar decisões, compreender, dar sentido, e projetar resultados.

Os teoremas-em-ação, ao contrário do conceito-em-ação são categorizados e analisados como sentenças verdadeiras ou falsas sob a ótica científica. Um estudante pode operar um teorema falso, por exemplo, acreditar que o "calor" do sol que é responsável pela geração de energia elétrica, e ainda assim, usá-lo para organizar seu pensamento e esquema.

Representações Simbólicas (R): O significante. O sistema semiótico (conjunto de linguagem, gráficos, fórmulas) que permitem externalizar o conceito e organizar a ação (Vergnaud, 2007). A função das representações no desenvolvimento cognitivo é central, pois elas servem como ferramentas de mediação que organizam o pensamento e permite a comunicação do conhecimento, que não é formado apenas por símbolos, mas por uma relação entre significantes (signos) e significados (cognitivo). As representações simbólicas, através da linguagem e símbolos são instrumentos indispensáveis para explicitação de conhecimentos implícitos, permitindo que os invariantes operatórios evoluam para conceitos e teoremas científicos aceitos (Vergnaud, 2014).

2.1.4 Esquema

Esquema é definido como a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações (Vergnaud, 1993, 2013, 2017a). Diferente de um simples hábito, o esquema é uma organização funcional que permite ao sujeito agir, coletar informações e controlar os resultados de sua conduta (Vergnaud, 1993, 2013; Brun, 1996). Vergnaud amplia a visão piagetiana ao substituir a interação sujeito-objeto pela interação esquema-situação, postulando que são os esquemas do sujeito que se adaptam ás diversas situações da realidade.

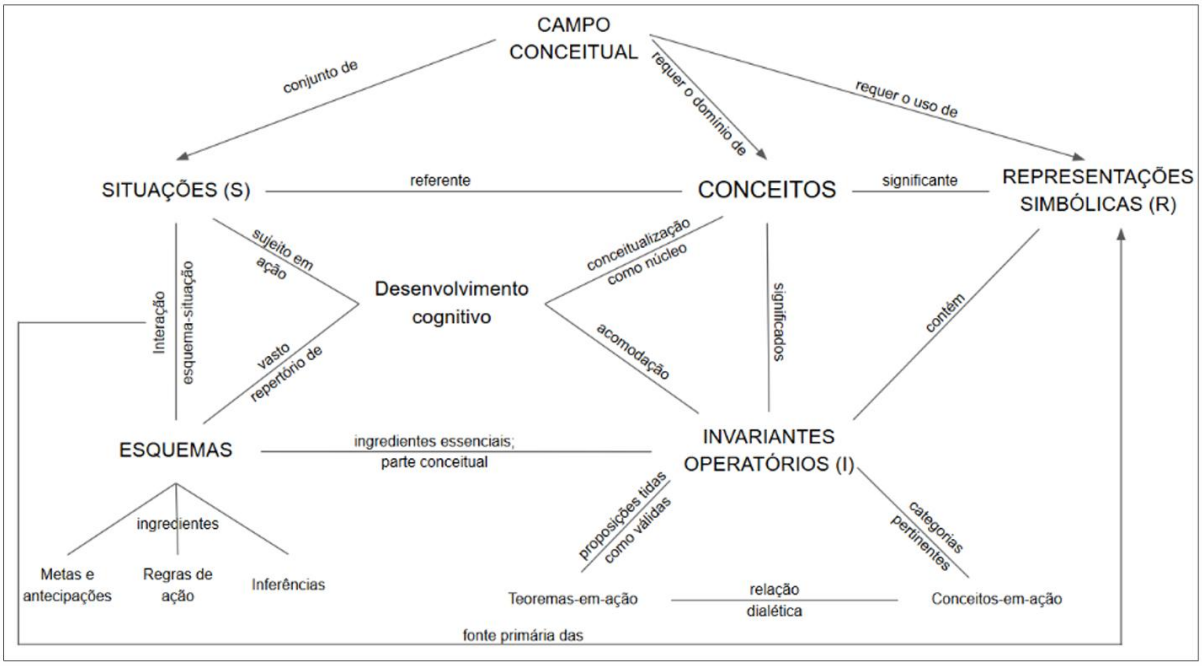
Vergnaud utiliza da metáfora do iceberg para explicar que os conceitos explícitos (fórmulas e definições) são apenas a ponta visível da conceitualização, a parte submersa e determinante da ação é formada pelos invariantes implícitos (Vergnaud, 1990, 1993; Moreira 2002) A aprendizagem ocorre quando o professor atua no papel de mediador, intervindo no processo para auxiliar o estudante a transformar os conhecimentos implícitos em conceitos científicos explícitos (Rocha; Catarino, 2020; Moreira, 2002; Lima; Santos, 2015).

Por fim, a TCC consolida-se como um referencial teórico robusto para a compreensão do desenvolvimento de conceitos e competências complexas, particularmente para o ensino da matemática e ciências (física). Mobiliza saberes de forma completa, reconhecendo que o conhecimento não se reduz a definições formais, mas emerge da dialética entre a ação e a conceitualização. A teoria possibilita a organização do desenvolvimento dos campos

conceituais mediante a aplicação sistemática do Tripleto (S, I, R). A TCC evidencia que o aprendizado científico é um processo de longo prazo, caracterizado por associações e rupturas. O papel do professor, portanto, é o de mediador, propondo situações desafiadoras que forcem a reorganização dos esquemas dos estudantes e a evolução de seus invariantes operatórios em direção ao saber científico.

Na Figura 1 Moreira (2002) apresenta um esquema que resume a interconexão entre esses pilares fundamentais, oferecendo uma visão sistêmica da teoria e de como seus constructos operam para promover o desenvolvimento cognitivo.

Figura 1- Mapa conceitual para a teoria dos campos conceituais.



Fonte: Moreira, 2002.

2.2. Habilidades cognitivas e níveis de análise – Zoller

A fundamentação teórica da aprendizagem deste trabalho está ancorada na Teoria dos Campos Conceituais (TCC). Para estruturar a análise da evolução dos invariantes operatórios dos estudantes durante as diferentes situações propostas, esta pesquisa buscou uma base teórica para a classificação das habilidades cognitivas, encontrando na proposta de Zoller (2002) um referencial que categoriza a complexidade das habilidades conforme a demanda cognitiva imposta aos esquemas do sujeito. Essa classificação torna-se fundamental para compreender o desenvolvimento cognitivo na perspectiva da TCC, pois, segundo Vergnaud (1990, 2013), o conhecimento se desenvolve à medida que o indivíduo conceitualiza situações que exigem o

domínio de diferentes propriedades de um mesmo conceito. Desse modo, a apresentação de situações com níveis variados de complexidade favorece a elaboração de novos esquemas e a construção de invariantes operatórios de natureza científica.

As habilidades cognitivas são divididas em duas classificações, sendo:

- LOCs (Lower-Order Cognitive Skills): Habilidades de baixa ordem, acionadas em situações familiares que envolvem atividades como identificação, memorização ou aplicação de conceitos e exercícios objetivos sem aprofundamento na problematização do conteúdo. (Zoller, 2002; Cunha; Ferreira; Ferreira, 2025). Segundo Suart e Marcondes (2009), as LOCS restringem-se às recordações e definições formais, equações e procedimentos algoritmos. Na estrutura da análise desta pesquisa, serão desenvolvidos níveis, e essas habilidades comporão os níveis 1 e 2. Nestes estágios, o estudante opera como esquemas baseados em experiencias cotidianas e invariantes operatórios parciais ou de senso comum, por exemplo como a ideia de que calor é algo que está quente.

- HOCS (Higher-Order Cognitive Skills): Habilidades de alta ordem, exigidas em situações-problema não familiares que demandam investigação, análise de variáveis, pensamento crítico e a construção de conexões conceituais para a tomada de decisão. (Zoller, 2002; Suart e Marcondes, 2009). Na pesquisa a HOCS basearão a análise dos níveis 3 e 4, onde se observa a integração de esquemas e estabilização de invariantes operatórios complexos. Nesse ponto, o desenvolvimento do estudante deixa de ser puramente operatório (saber-fazer) e ascende à forma predicativa, sendo capaz de coordenar múltiplos invariantes para explicar e resolver problemas.

3. CONCEITUALIZAÇÃO FÍSICA

3.1. Energia e sua conservação

A energia constitui um conceito fundamental e transversal que permeia todos os campos da Física, sendo mais bem compreendida por meio de suas transformações, transferências e configurações sistêmicas do que por uma definição isolada (Young; Freedman, 2009; Feynman, 2005; Campelo, 2019). De acordo com a perspectiva de Richard Feynman, a energia é uma grandeza escalar que permanece constante em todas as modificações pelas quais a natureza passa, permitindo que se calcule um valor numérico que, ao final de qualquer processo, permanece inalterado (Feynman, 2005). No domínio acadêmico, a energia é interpretada como uma propriedade da configuração de um sistema, manifestando-se apenas na interação entre os corpos que o constituem (Serway; Jewett Junior, 2005; Gomes, 2012; França, 2023).

O Princípio da Conservação da Energia estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas convertida de uma forma para outra, permanecendo constante a quantidade total de um sistema isolado (Young; Freedman, 2009; Campelo, 2019). Em sistemas macroscópicos cotidianos, a energia total (E) pode ser contabilizada pela soma de suas diversas modalidades:

$$E = E_{mecânica} + E_{térmica} + E_{química} + E_{eletromagnética} + E_{nuclear} + \cdots$$

Nesta soma, a variação de energia em um sistema é invariavelmente acompanhada por uma variação oposta no meio externo com o qual ele interage, mantendo a energia total do universo constante (Tipler; Mosca, 2009; Halliday; Resnick; Walker, 2012). Historicamente, a consolidação deste princípio substituiu teorias como a do "calórico", integrando sob um mesmo paradigma a mecânica, o calor, a óptica e a eletricidade (Gomes, 2012; França, 2023).

No contexto solar, a energia eletromagnética originada no Sol é o produto de reações de fusão termonuclear em seu núcleo, onde a enorme pressão gravitacional e temperaturas extremas fundem núcleos de hidrogênio em hélio (Campelo, 2019). Este processo converte massa em energia radiante, que se propaga pelo espaço interplanetário como radiação eletromagnética, predominantemente em ondas curtas (0,3 a 3,0 μm) (Reis, 2011; Duffie; Beckman; Blair, 2020). Ao atingir a Terra, essa radiação interage com a atmosfera e a superfície, onde cerca de 51% é absorvida pelo solo e oceanos, sendo convertida em calor ou

estocada via fotossíntese, enquanto o restante é refletido ou espalhado (Von Schuckmann *et al.*, 2020; Santos, 2020).

A variação da energia de um sistema pode ocorrer por seis processos principais: trabalho (W), calor (Q), transferência de matéria, ondas mecânicas, radiações eletromagnéticas e transmissão elétrica (França, 2023). O trabalho é definido como a transferência de energia através de uma força ($\vec{F}$) aplicada ao longo de um deslocamento ($\Delta\vec{r}$):

$$W = \vec{F}.\Delta\vec{r}$$

e está intrinsecamente ligado ao Teorema do Trabalho-Energia Cinética, que postula que o trabalho total realizado sobre uma partícula é igual à variação de sua energia cinética ($K = \frac{1}{2}mv^2$) (Tipler; Mosca, 2009; Campelo, 2019). Diferentemente do trabalho, que envolve interações macroscópicas, o calor é interpretado modernamente como um processo de microtrabalhos em nível microscópico, resultando na variação da energia interna associada ao movimento vibracional, rotacional e translacional de átomos e moléculas (Eisberg; Resnick, 1979; Cunha; Ferreira; Ferreira, 2025; França, 2023).

3.2. Fóton e a quantização da luz

A descrição física do fenômeno fotovoltaico exige o suporte da Mecânica Quântica, que descreve a radiação eletromagnética como tendo um comportamento dual, apresentando-se tanto como onda contínua quanto como partículas discretas denominadas fótons (Mahon, 2000; Zilles et al., 2012). Albert Einstein, em 1905, consolidou essa perspectiva ao propor que a energia radiante não se distribui uniformemente no espaço, mas é concentrada em pacotes corpusculares ou "quanta" de luz, o que permitiu explicar o fenômeno da emissão de elétrons em superfícies metálicas sob iluminação (Einstein, 1905; Lameu, 2014). Esta descoberta, fundamentada na hipótese de Max Planck, permitiu explicar por que a emissão de elétrons em superfícies iluminadas depende exclusivamente da frequência da luz, e não da sua intensidade, estabelecendo um limiar de energia necessário para interação.

Cada fóton transporta uma quantidade exata e quantizada de energia (E), que é diretamente proporcional à frequência da radiação (v), conforme estabelecido pela Equação de Planck:

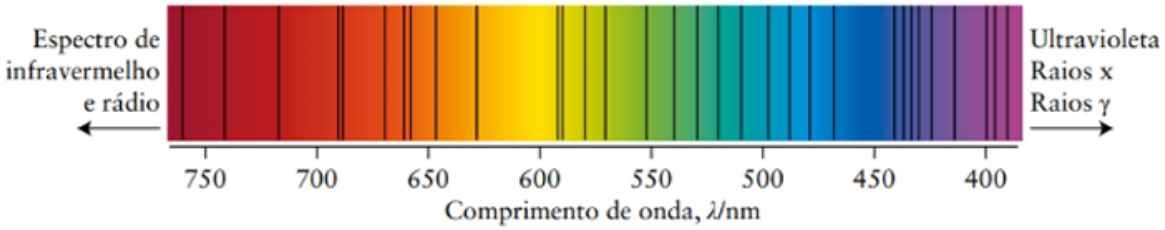
$$E = hv$$

Sendo h a constante de Planck igual à $6{,}626\ x\ 10^{-34} J.s$ (Halliday; Resnick; Walker, 2012; Reis, 2011). No contexto da física do estado sólido e da engenharia fotovoltaica, é prático expressar a energia em elétron-volts (eV) e o comprimento de onda (λ) em micrômetros (µm), utilizando a relação derivada da velocidade da luz ($c = \lambda v$):

$$E(eV) \approx \frac{1{,}24}{\lambda(\mu m)}$$

Desta forma, a energia de um fóton varia inversamente com o seu comprimento de onda: radiações com comprimentos de onda curtos, como o ultravioleta (~300 nm), possuem fótons de alta energia (acima de 3 eV), enquanto radiações de ondas longas, como o infravermelho (>1200 nm), possuem fótons com energia reduzida (Eisberg; Resnick, 1979; Campelo, 2019). A Figura 2, apresenta a distribuição da energia solar por comprimento de onda. A faixa útil para o silício cristalino concentra-se entre o ultravioleta e o infravermelho próximo (aproximadamente 300 nm a 1100 nm). A região mais eficiente de resposta para célula solar de Silício está em torno de 1000 nm (Terra, 2013). Fótons situados no infravermelho profundo (> 1100 nm) não possuem energia suficiente para a excitação eletrônica, enquanto fótons de alta frequência (UV) carregam excesso de energia que é dissipada termicamente.

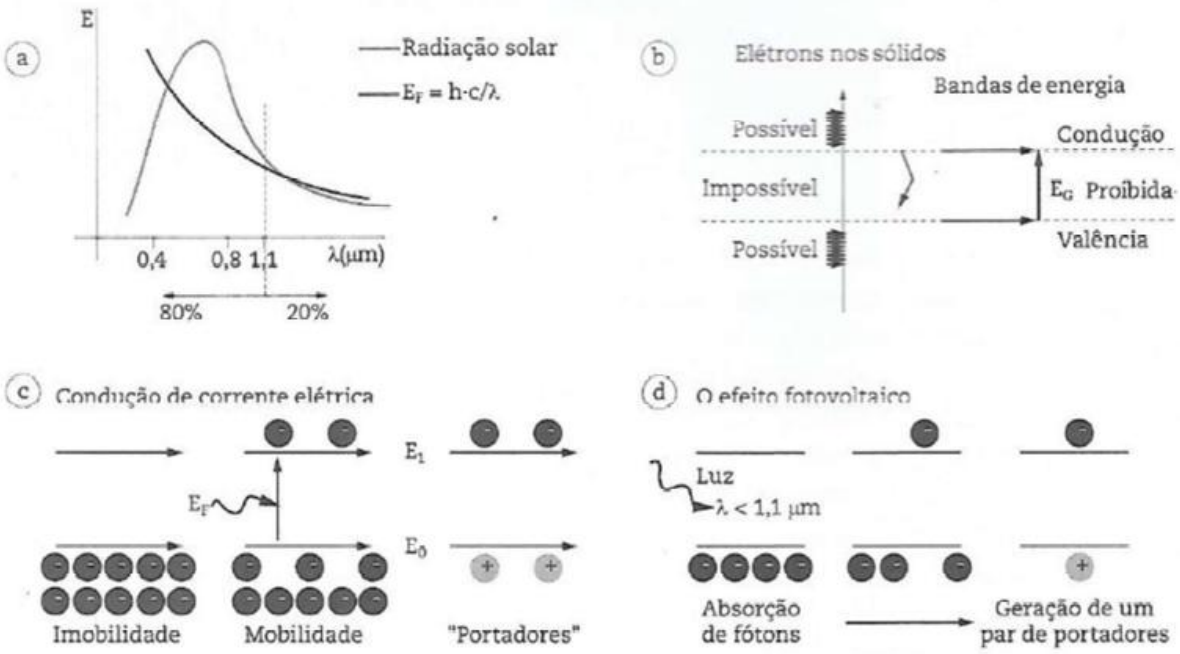
Figura 2 – Espectro eletromagnético



Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 8)

Na interação microscópica dentro de uma célula solar, o fóton, ao atingir o material semicondutor (como o silício), colide com um elétron da banda de valência e transfere integralmente sua energia para ele (Swart, 2008; Campelo, 2019). Para que ocorra a geração de corrente elétrica, a energia do fóton (hv) deve ser igual ou superior ao gap de energia (E_g) do semicondutor (aproximadamente 1,12 eV para o silício cristalino) (Zilles et al., 2012). Este processo de transferência e excitação é detalhado na Figura 3, que esquematiza o salto quântico eletrônico.

Figura 3 – Diagrama de Bandas de Energia e mecanismos de conversão.



Fonte: Ziller et al (2012); Campelo (2019).

Na Figura 3 - a) Incidência: O fóton atinge o material carregando energia quantizada; b) Excitação: Ao absorver a energia, o elétron realiza um salto da banda de valência para a banda de condução, rompendo sua ligação química; c) Termalização: Fótons com energia muito superior ao *gap* levam o elétron a níveis altos na banda de condução; o elétron "relaxa" para a borda da banda liberando o excesso como calor; d) Par Elétron-Lacuna: A saída do elétron deixa um espaço vazio (lacuna) na banda de valência, criando portadores de carga prontos para serem coletados. (Campelo, 2019).

Uma vez gerado o par elétron-lacuna, é necessário evitar sua recombinação imediata para que o trabalho elétrico ocorra. Isso é realizado pelo campo elétrico interno presente na da junção P-N do semicondutor dopado (Reis, 2011; Campelo, 2019).

Fótons com energia abaixo do *gap* atravessam a célula sem interagir (perda por transparência), enquanto fótons com energia muito superior ao limiar perdem o excesso de energia na forma de calor logo após a absorção, processo conhecido como perda por termalização (Lameu, 2014; Campelo, 2019).

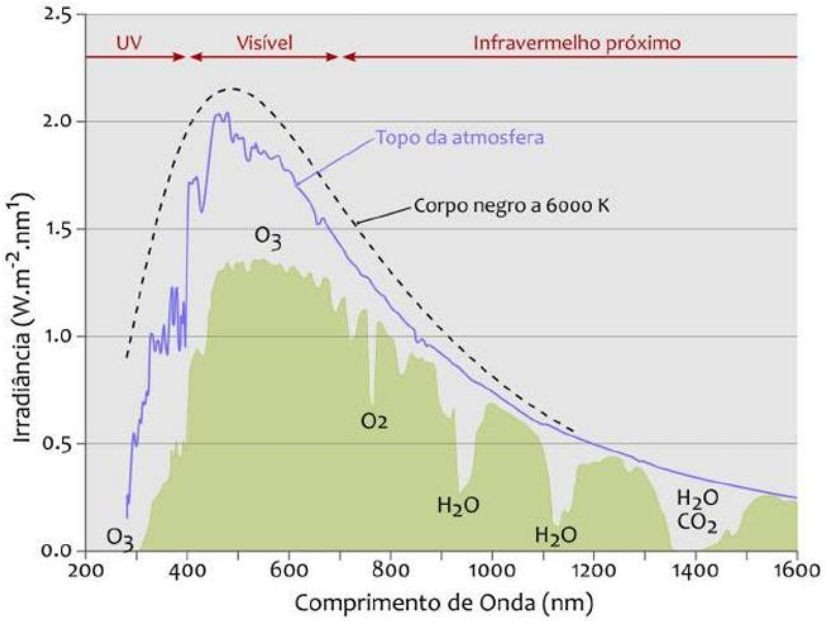
3.3. Irradiância e o Espectro Eletromagnético.

A irradiância (I) é definida na física radiométrica como a potência da radiação eletromagnética incidente por unidade de área, sendo expressa no Sistema Internacional em Watts por metro quadrado (W/m^2) (Reis, 2011; CRESESB, 2018). No limite superior da atmosfera terrestre, a intensidade da radiação atinge um valor médio de aproximadamente 1365 W/m^2, grandeza denominada constante solar (Reis, 2011; Campelo, 2019). Este índice extraterrestre serve como o referencial de energia primária disponível antes das interações com a massa de ar, sendo essencial para o cálculo do balanço energético do sistema Sol-Terra (Reis, 2011).

Ao penetrar no sistema atmosférico, a radiação solar sofre processos severos de atenuação causados por absorção molecular e espalhamento (Rayleigh e Mie) (Reis, 2011; Campelo, 2019). Estima-se que cerca de 30% da radiação incidente seja espalhada ou refletida de volta ao espaço (albedo), enquanto 19% é absorvida pelos constituintes atmosféricos e apenas 51% atinge efetivamente a superfície terrestre (Reis, 2011). Gases como o ozônio (O_3) atuam filtrando a radiação ultravioleta de alta energia, enquanto o vapor d'água (H_2O) e o dióxido de carbono (CO_2) apresentam bandas de absorção seletiva na região do infravermelho.

O espectro solar disponível na superfície terrestre situa-se majoritariamente no intervalo entre 0,3 e 3,0 μm, compreendendo o ultravioleta (UV), a luz visível (400-800 nm) e o infravermelho próximo (NIR) (Reis, 2011; Campelo, 2019). Aproximadamente 81% da energia radiada disponível na superfície concentra-se na faixa do visível ao infravermelho próximo, conforme evidenciado na Figura 4 (Pereira et al, 2017).

Figura 4 – Irradiância Espectral Solar: Topo da Atmosfera vs. Superfície.



Fonte: Pereira, et al (2017).

A figura apresenta a curva de emissão de corpo negro ($\approx 5800\,K$) comparada à irradiância real ao nível do mar. Observam-se as depressões no espectro causadas pela absorção de gases específicos, definindo a janela espectral útil para a tecnologia de silício (Cresesb, 2018).

Para a caracterização técnica de dispositivos fotovoltaicos, utilizam-se as Condições Padrão de Teste (STC), que estabelecem uma irradiância global de $1000\,W/m^2$, temperatura de célula de $25°\,C$ e distribuição espectral correspondente à Massa de Ar (AM) de 1,5 (Zilles et al., 2012). O índice AM 1,5 representa o caminho óptico da luz através da atmosfera quando o Sol está a um ângulo de aproximadamente 48,2 ° em relação ao zênite (Reis, 2011; Zilles et al., 2012).

A irradiância global (I_g) incidente sobre um plano é a soma de duas componentes fundamentais, conforme a Equação (Pereira, et al, 2017):

$$I_g = I_d + I_c$$

Sendo I_d - Irradiação direta e a I_c – Irradiação difusa. Nesta expressão, representa a radiação direta, que atinge a superfície em linha reta sem sofrer desvios, e representa a radiação difusa, resultante do espalhamento atmosférico em todas as direções (Reis, 2011; CRESESB, 2018). Adicionalmente, deve-se considerar o albedo, que é a parcela da radiação refletida por superfícies adjacentes (como o solo) que incide no sistema fotovoltaico.

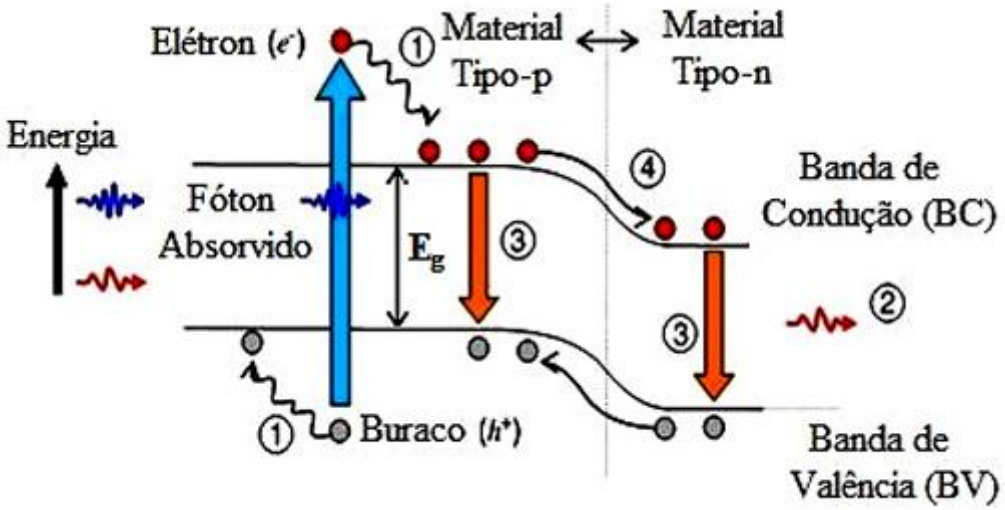
3.4. Princípios Ópticos, Fatores de Perda e Eficiência na Conversão Fotovoltaica

A eficiência de conversão de uma célula solar de silício cristalino ($Si - c$) é limitada por restrições termodinâmicas e eletrônicas intrínsecas, além de variáveis ópticas e ambientais externas. O aproveitamento da luz solar depende fundamentalmente do balanço radiativo entre os fenômenos de reflexão, absorção e transmissão. Em nível microscópico, a eficiência é definida pela capacidade do sistema de captar fótons úteis e separá-los como portadores de carga antes de sua recombinação (Terra, 2013).

Mecanismos de Perda Quântica e Eletrônica (Intracélula)

As perdas intracélula ocorrem devido à incompatibilidade entre o espectro de irradiância solar e o gap de energia (E_g) do semicondutor. De acordo com Terra (2013), as principais perdas intracélula associadas ao funcionamento de células fotovoltaicas podem ser descritas da seguinte forma, sendo a Figura 5 uma representação dos mecanismos de perda quântica e eletrônica envolvidos nesse processo.

Figura 5 – Mecanismos de perda quântica e eletrônica: (1) Perda por termalização da rede, (2) Perda por transparência, (3) Perda por recombinação e (4) Perda na junção P-N.



Fonte: Terra (2013).

- Perda por Termalização para a Rede (47%): Representa a maior parcela de perda na célula. Fótons com alta energia (comprimentos de onda $\lambda < 600nm$, como ultravioleta e azul) possuem energia muito superior ao *gap* do silício. O elétron é excitado para um nível

elevado na banda de condução e rapidamente "relaxa" para a borda da banda, dissipando o excesso energético na forma de calor (vibrações na rede cristalina ou fônons).

- Perda por Transparência (18,5%): Ocorre com fótons de baixa energia ($\lambda > 1100nm$, infravermelho longo). Como sua energia é inferior ao limiar de 1,12 eV necessário para romper a ligação covalente do silício, eles não são absorvidos, atravessando a célula como se o material fosse transparente.
- Perda por Recombinação Radiativa: Manifesta-se quando pares elétron-lacuna (éxcitons) recém-gerados se anulam mutuamente antes de serem coletados pelo campo elétrico da junção. Esse processo ocorre na escala de milissegundos e resulta na emissão de fótons na região do infravermelho, reduzindo a fotocorrente útil.
- Perdas na Junção P-N: Na zona de transição, a difusão de portadores (elétrons para o lado P e lacunas para o lado N) estabelece um campo elétrico interno que cria uma barreira ao movimento livre de cargas. A região próxima à junção torna-se deficiente de portadores majoritários, o que pode cessar o fluxo de corrente caso o equilíbrio não seja mantido pela incidência contínua de radiação.

Fatores Ópticos e Ambientais (Externos)

- Reflexão: Parte da radiação solar atinge a superfície do vidro de cobertura ou os contatos metálicos e retorna ao meio externo sem penetrar no semicondutor. Para mitigar este efeito, utilizam-se revestimentos antirreflexo que ajustam a impedância óptica da célula (Luque; Hegedus, 2011).
- Sombra e Poeira: A deposição de sujidade ou a projeção de sombras bloqueia o fluxo de fótons, reduzindo a irradiância útil. Em sistemas conectados em série, uma única célula sombreada pode atuar como carga dissipativa, provocando quedas severas de tensão e o surgimento de pontos quentes (*hot spots*) (Chepp; Gasparin; Krenzinger, 2022).

Otimização Geométrica e Geográfica

A maximização da irradiância global recebida (I_g) — que é a soma das frações direta (I_d), difusa (I_c) e do albedo (refletida) — depende da conformidade com a Lei da Incidência (Reis, 2011). A eficiência de uma placa é maximizada pela Lei da Incidência, que postula que o fluxo radiante é máximo quando os raios atingem a superfície de forma perpendicular (ângulo de incidência zero) (Cruz Junior; Soltau, 2021). Fatores como o índice de refração do vidro — tipicamente em torno de 1,5 — e o uso de revestimentos antirreflexo são fundamentais para

minimizar as perdas por reflexão, permitindo que mais fótons penetrem na célula. Esses revestimentos, em geral, possuem índice de refração intermediário entre o ar (n ≈ 1,0) e o silício (n ≈ 3,5), reduzindo a descontinuidade óptica e aumentando a absorção da radiação incidente (Luque; Hegedus, 2011).

- Inclinação das Placas: Para garantir que os raios solares atinjam o painel de forma perpendicular (ângulo de incidência zero), a inclinação deve seguir a latitude local. Em Dourados (MS), por exemplo, a latitude é de aproximadamente 22°, definindo a inclinação ótima média em 22°. Ajustes sazonais podem ser feitos: -10° no verão e +10° no inverno. (CRESESB (2018).
- Orientação Geográfica: No Hemisfério Sul, as placas devem ser orientadas para o Norte geográfico (azimute = 0°). Desvios superiores a 15° reduzem drasticamente a produtividade energética diária. CRESESB (2018).

3.5. Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico define-se como o surgimento de uma diferença de potencial (tensão elétrica) nos terminais de uma estrutura de material semicondutor quando esta é submetida à radiação eletromagnética (CRESESB, 2006; Neto, 2021). Historicamente, o fenômeno foi observado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, ao notar a geração de corrente entre eletrodos de platina imersos em um eletrólito sob iluminação (Campelo, 2019; Groth, 2022).

Diferente de sistemas térmicos, o efeito fotovoltaico é um processo de conversão direta da energia contida nos fótons em eletricidade, ocorrendo integralmente no interior da estrutura eletrônica do material semicondutor, como o silício (Si) (Campelo, 2019; Swart, 2008). De acordo com a física do estado sólido, semicondutores são caracterizados por bandas de energia: a banda de valência, ocupada por elétrons envolvidos em ligações químicas, e a banda de condução, inicialmente vazia (Zilles et al., 2012).

O processo microscópico ocorre em estágios fundamentais, conforme ilustrado na Figura 3:

1. Absorção do Fóton: Um fóton atinge a célula e transfere sua energia ($E = h\nu$) a um elétron da banda de valência (Campelo, 2019).
2. Excitação Eletrônica: Se a energia do fóton for igual ou superior ao gap de energia (E_g) do semicondutor (aproximadamente 1,12 eV para o silício cristalino), o elétron realiza

um salto quântico para a banda de condução, tornando-se um portador de carga livre (Campelo, 2019; Zilles et al., 2012).

3. Geração do Par Elétron-Lacuna: A saída do elétron deixa um espaço vazio carregado positivamente, denominado lacuna, na banda de valência (Campelo, 2019).
4. Separação de Cargas: Para evitar a recombinação imediata desses portadores, utiliza-se a junção P-N, que cria um campo elétrico interno permanente na zona de depleção (CRESESB, 2006; Swart, 2008). Este campo atua como uma "bomba" que direciona elétrons para a camada N e lacunas para a camada P, estabelecendo a fotocorrente quando o sistema é conectado a uma carga externa (Campelo, 2019).

Diferenciação Técnica: Efeito Fotovoltaico vs. Efeito Fotoelétrico

Embora ambos os fenômenos se fundamentam na interação quântica entre radiação e matéria (teoria dos fótons), existem distinções técnicas cruciais quanto ao meio de ocorrência e ao destino dos elétrons excitados (Lameu, 2014; Cruz Junior; Soltau, 2021).

- Efeito Fotoelétrico (Ejeção Externa): Consiste na ejeção completa de elétrons (fotoelétrons) para fora da superfície de um material, geralmente metálico, para o vácuo ou um meio gasoso (Lameu, 2014; Cruz Junior; Soltau, 2021). Para que ocorra, a energia do fóton incidente deve superar a função trabalho (ϕ) do material, convertendo o excedente em energia cinética ($K_{max} = h\nu - \phi$) (Lameu, 2014; Cruz Junior; Soltau, 2021). É o princípio utilizado em válvulas fotomultiplicadoras e sensores externos de emissão (Lameu, 2014).
- Efeito Fotovoltaico (Excitação Interna): Também referido em alguns contextos acadêmicos como efeito fotoelétrico interno, caracteriza-se pelo confinamento dos elétrons dentro do material (Lameu, 2014; Campelo, 2019). A luz não arranca o elétron para fora da estrutura, mas apenas o promove a um estado de energia livre dentro do cristal semicondutor (Lameu, 2014; Zilles et al., 2012). A barreira de energia a ser vencida não é a superfície metálica (vácuo), mas o gap de banda (E_g) proibida entre as camadas de valência e condução (Campelo, 2019; Swart, 2008).

3.6. Tecnologia e Funcionamento dos Módulos Fotovoltaicos

A tecnologia dos módulos fotovoltaicos fundamenta-se na associação de células solares, que são dispositivos semicondutores projetados para converter a energia radiante dos fótons diretamente em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico (CAMPELO, 2019).

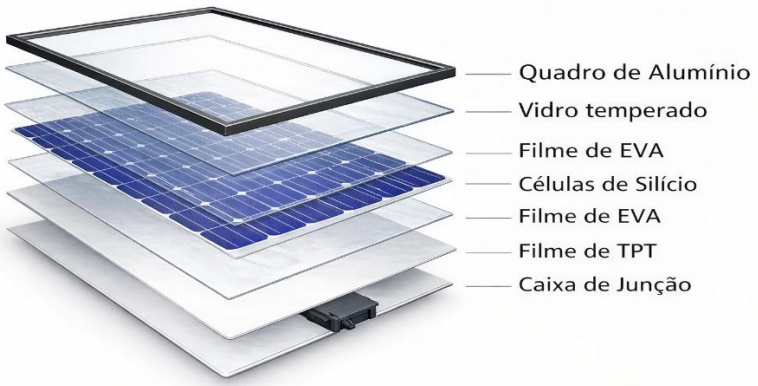
Individualmente, uma célula de silício cristalino opera como um gerador de corrente de baixa tensão, produzindo entre 0,5 V e 0,6 V em condições de circuito aberto (ZILLES et al., 2012). Para que níveis de tensão e potência comercialmente úteis sejam atingidos, as células são conectadas eletricamente em série e encapsuladas em uma estrutura mecânica robusta e protegida (CAMPELO, 2019; ZILLES et al., 2012).

Estrutura Física do Painel

A montagem de um módulo fotovoltaico exige um arranjo mecânico complexo para garantir a integridade das células contra intempéries por períodos que excedem 25 anos. Esta estrutura, exposta na Figura 6, é tecnicamente descrita como um "sanduíche" composto pelas seguintes camadas, da face exposta para a base (Neto, 2021; Groth, 2022):

- Moldura de Alumínio: Confere rigidez estrutural e facilita o suporte de fixação.
- Vidro Temperado: Possui alta transparência e baixo teor de ferro para minimizar a reflexão e proteger contra impactos físicos.
- Película Encapsulante (EVA - Etileno Vinil Acetato): Protege as células contra umidade, vibrações e oxidação.
- Células de Silício: Local onde ocorre a conversão fotovoltaica propriamente dita.
- Fundo Protetor (Backsheet): Camada isolante elétrica e térmica na parte posterior.
- Caixa de Junção: Onde os terminais positivo e negativo são disponibilizados para o cabeamento externo.

Figura 6 – Vista explodida da composição de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Adaptada de Neto, 2021.

Dinâmica Microscópica: A Junção P-N

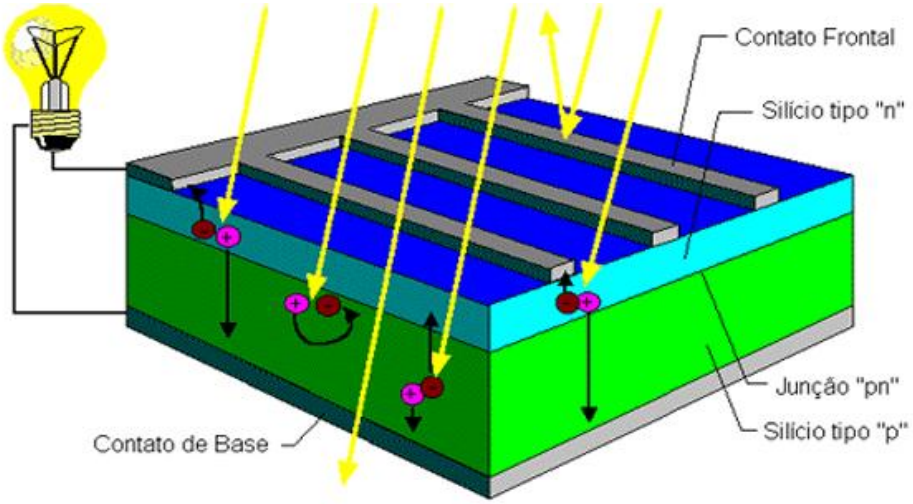
O funcionamento interno da célula depende da dopagem do silício para a criação de uma junção P-N (Campelo, 2019; Swart, 2008). O silício de tipo N recebe fósforo (excesso de elétrons), enquanto o tipo P recebe boro (excesso de lacunas). Na interface entre essas camadas, estabelece-se um campo elétrico interno permanente na zona de depleção (Campelo, 2019).

Quando fótons com energia superior ao *gap* do silício ($\approx 1{,}12$ eV) atingem a célula, eles promovem elétrons da banda de valência para a banda de condução, gerando pares elétron-lacuna (Campelo, 2019; Zilles et al., 2012). O campo elétrico da junção P-N atua separando essas cargas: os elétrons são impulsionados para o lado N e as lacunas para o lado P, estabelecendo a corrente elétrica contínua (CC) quando o circuito é fechado (Campelo, 2019).

Caracterização Elétrica e Eficiência

O desempenho de um módulo é padronizado pelas Condições Padrão de Teste (STC): irradiância de 1000 W/m², temperatura de célula de 25°C e massa de ar de AM 1,5 (Zilles et al., 2012; Campelo, 2019). Em operação real, a célula apresenta perdas representadas por resistências parasitas: a resistência série (R_s), derivada dos contatos metálicos, e a resistência paralelo (R_p), decorrente de fugas de corrente nas bordas da célula (Zilles et al., 2012).

Figura 7 – Corte transversal e funcionamento da célula fotovoltaica.



Fonte: CRESESB, 2006.

3.7. Cálculos para Geração e Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos

O dimensionamento preciso de um sistema fotovoltaico (SFV) é fundamental para garantir o equilíbrio entre o investimento econômico e a autonomia energética da unidade consumidora. O processo baseia-se na determinação da potência de pico necessária para suprir uma carga específica, considerando as variáveis ambientais locais e as perdas intrínsecas ao sistema (Cruz Junior; Soltau, 2021).

Etapas para o Dimensionamento Técnico

i. Determinação da Carga de Consumo (C_d): O primeiro estágio consiste em calcular o consumo médio diário a partir do histórico das faturas de energia elétrica. Para diluir variações sazonais, utiliza-se a média mensal (C_m) dos últimos 12 meses. O consumo médio diário (), expresso em kWh/dia, é obtido pela Equação:

$$C_d = \frac{C_m(\frac{kWh}{mês})}{30\ dias}$$

ii. Avaliação da Irradiância Solar Local (H_{sun}): É necessário identificar o índice de irradiação solar diária média para a localidade, preferencialmente no plano inclinado do coletor. Esses dados são obtidos por meio de bases de dados georreferenciadas, como o Atlas Brasileiro de Energia Solar ou o banco de dados do CRESESB (Pereira et al., 2017; CRESESB, 2018). Para a cidade de Dourados (MS), utiliza-se como referencial o valor de $5{,}09\frac{kWh}{m^2}.dia$ para painéis instalados com inclinação igual à latitude local (aprox. 22°).

iii. Definição da Eficiência Global do Sistema (η): Nenhum sistema opera sem dissipação de energia. Fatores como a temperatura de operação das células, acúmulo de sujidade, perdas ôhmicas no cabeamento e a eficiência de conversão do inversor (corrente contínua para alternada) devem ser contabilizados (Zilles et al., 2012). Estima-se, para fins de projeto residencial, um percentual médio de 25% de perdas, resultando em uma eficiência global (η) de 75% ou 0,75 (Cruz Junior; Soltau, 2021; Zilles et al., 2012).

iv. Cálculo da Potência de Pico do Sistema (P_{FV}): A potência instalada necessária, medida em quilowatts-pico (kWp), define a capacidade nominal de geração sob Condições Padrão de Teste (STC) para suprir a demanda real, conforme a Equação (Zilles et al., 2012):

$$P_{FV}(kWp) = \frac{C_d}{\eta \; x \; H_{sun}}$$

v. Dimensionamento do Arranjo (Número de Módulos): O número total de módulos (N_{mod}) é definido pela razão entre a potência total calculada e a potência nominal de cada painel selecionado (P_{mod}), arredondando-se para o número inteiro superior (Zilles et al., 2012):

$$N_{mod} = \frac{P_{FV} \; (kWp) X \; 1000}{P_{mod} \; (Wp)}$$

Por exemplo, para um projeto que exija $2{,}62 \; kWp$ utilizando painéis de $400 \; Wp$, seriam necessários 7 módulos para atender à demanda projetada (Cruz Junior; Soltau, 2021).

4. REVISÃO DE LITERATURA

A construção do conhecimento científico é um esforço de natureza coletiva, no qual a problematização de novos temas exige que o pesquisador se situe nas discussões precedentes (Heusy; Gaulke; Rocha, 2022). No ensino de Ciências, a análise do "estado do conhecimento" permite identificar as contribuições e, sobretudo, as carências de novas investigações, orientando o delineamento de estratégias didáticas mais eficazes (Cunha; Ferreira, 2020; Pacheco; Zanella, 2021).

A fundamentação teórica pautada em trabalhos anteriores é essencial para que o pesquisador possa propor rupturas e avanços epistemológicos necessários à expansão do saber (Heusy; Gaulke; Rocha, 2022). No percurso metodológico, a revisão sistemática de literatura busca o que foi publicado a respeito do tema, permitindo que os resultados alcancem a confiabilidade necessária para serem generalizados ou adaptados a novos contextos de ensino-aprendizagem (Flick, 2013; França, 2023).

Síntese da Revisão de Literatura (2019-2025)

A Quadro 1 a seguir sistematiza os principais trabalhos identificados, destacando a temática, o referencial e os principais avanços alcançados.

Quadro 1 - Sistematização de pesquisas sobre Energia Solar e TCC (2019-2025).

Autor (Ano)	Tipo	Título do Trabalho	Temática	Referencial	Principais Resultados
Campelo (2019)	Dissertação	Sequência de ensino investigativa para o estudo do efeito fotovoltaico em uma abordagem experimental na perspectiva da Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud	Efeito Fotovoltaico	TCC / SEI	Evolução da linguagem técnica e identificação de invariantes operatórios sobre conversão de energia.
Araújo (2019)	Dissertação	Implementação de metodologias ativas: aprendizagem baseada em projetos em aulas de Física sobre acústica no ensino médio à luz dos Campos Conceituais	Acústica	TCC / ABP	Projetou o estudante como protagonista e o professor como mediador na busca pela aprendizagem significativa.

Ribeiro (2020)	Dissertação	Aplicação de uma sequência de ensino investigativa usando a Teoria de Campos Conceituais para o estudo das Leis de Kepler no Ensino Médio	Leis de Kepler	TCC / SEI	As situações pedagógicas permitiram ao estudante organizar o pensamento de forma mais concreta e científica.
Pacheco & Zanella (2021)	Artigo	Identificação de Teoremas em Ação no ensino de Astronomia nos anos iniciais	Astronomia (Sol)	TCC	Mapeamento de sete teoremas-em-ação (verdadeiros e falsos) e identificação de concepções alternativas.
Cruz Jr. & Soltau (2021)	Artigo	Produção e consumo de energia elétrica fotovoltaica: um aplicativo destinado ao ensino de Física e ao debate sobre a matriz energética	Geração Solar	Aplicativo Móvel	Desenvolvimento de simulação intuitiva para debate sobre a dependência de fósseis e hidroeletricidade.
Heusy et al. (2022)	Artigo	Uma visão geral dos recentes trabalhos realizados sobre a teoria dos campos conceituais de Vergnaud	Revisão TCC	TCC	Consolidação da TCC na Física e indicação de escassez de trabalhos para o Ensino Fundamental.
Irineu et al. (2022)	Artigo	Astronomy as a Tool for Learning the laws of Physics: Theory of Conceptual fields by Vergnaud	Astronomia / Física	TCC / SEI	A contextualização teórica com observações de campo melhorou a relação dos estudantes com as ciências exatas.
França (2023)	Tese	Estratégias de ensino metacognitivas como instrumento para trabalhar os invariantes operatórios sobre o conceito de calor no ensino médio	Calor (Termodinâmica)	TCC / Metacognição	Evolução dos invariantes operatórios e desenvolvimento de autonomia e motivação através da tomada de consciência
Menezes & Soares (2023)	Artigo	Uma sequência didática baseada na energia solar fotovoltaica e nos três momentos pedagógicos como facilitadora no ensino de física moderna	Energia Solar	3MP / Física Moderna	Melhora de 82% na taxa média de acerto e maior aproximação da Física com o cotidiano dos estudantes.

Meireles (2023)	TCC	Reflexões sobre a Teoria dos Campos Conceituais no Ensino da Física	Ensino de Física	TCC	Reitera a importância de situações-problema para dar sentido e concretude à aprendizagem.
Faria (2024)	Dissertação	Abordagem investigativa com ênfase na história da ciência para a aprendizagem de estrutura da matéria	Estrutura da Matéria	TCC / TAS	Mudança atitudinal frente à construção do saber e maior engajamento na busca por aprendizagem significativa.
Cunha et al. (2025)	Artigo	Concepção atomista de estudantes de graduação em química em diferentes níveis de cognição: um olhar a partir da teoria dos campos conceituais	Concepção Atomista	TCC	Identificação de explicações fragmentadas e obstáculos na transição entre o macroscópico e o submicroscópico.

Fonte: Elaboração própria com base nas fontes consultadas (2026).

A seguir, descreve-se as sínteses de cada trabalho, evidenciando seus resultados, conexões com esta pesquisa e o que permanece em aberto para novas investigações.

1. Campelo (2019): O Efeito Fotovoltaico sob a Óptica da TCC

O autor desenvolveu e aplicou um produto educacional baseado em Sequências de Ensino Investigativas (SEI) para o ensino do efeito fotovoltaico. O estudo resultou em um desenvolvimento significativo na linguagem técnica dos estudantes, permitindo identificar os invariantes operatórios mobilizados durante o processo de conversão de energia.

- Contribuição: Valida a TCC como referencial potente para o estudo de temas contemporâneos e complexos, como a geração fotovoltaica.
- Lacuna: O trabalho aponta a persistência da confusão entre radiação e calor (modelo térmico), indicando que as situações-problema precisam ser aprimoradas para superar esse obstáculo.

2. Araújo (2019): Metodologias Ativas e a Acústica

O trabalho investigou a implementação da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) articulada à TCC para o ensino de Acústica no Ensino Médio. A investigação focou na ressignificação de conceitos por meio de situações desafiadoras, como a construção de instrumentos musicais, buscando transformar o conhecimento implícito dos estudantes em conhecimentos explícitos e cientificamente aceitos.

- Contribuição: Projeta o estudante como protagonista de sua aprendizagem e o professor como mediador, reforçando que as representações simbólicas (como mapas e relatórios) são essenciais para tornar a conceitualização do real comunicável.

- Lacuna: O estudo indica a persistência de estratégias descontextualizadas por parte de alguns estudantes e o distanciamento dos comandos e exercícios, sugerindo que o domínio de um campo conceitual complexo requer uma mediação ainda mais constante na formalização da linguagem técnica.

3. Ribeiro (2020): Invariantes Operatórios e as Leis de Kepler

A pesquisa aplicou uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) para o estudo do movimento planetário, acompanhando as trajetórias de aprendizagem por meio de maquetes, mapas conceituais e oficinas de *lapbook*. Os resultados permitiram identificar a mobilização de invariantes operatórios, como o uso de equações interpretadas como teoremas-em-ação, evidenciando que os estudantes progrediram da forma operatória ("saber fazer") para a forma predicativa ("saber dizer") do conhecimento.

- Contribuição: Demonstra que a diversidade de situações e o uso de recursos práticos e visuais são determinantes para que os estudantes reorganizem seus esquemas mentais e atribuam sentido a conceitos físicos considerados abstratos.

- Lacuna: A autora aponta que a interpretação de textos científicos permanece como um desafio para os estudantes e que a desestabilização de teoremas-em-ação falsos é um processo lento que exige tempo para além da aplicação pontual da sequência.

4. Pacheco e Zanella (2021): Teoremas em Ação e a Astronomia

A pesquisa qualitativa identificou os teoremas-em-ação (verdadeiros e falsos) de estudantes ao tratarem do Sol e do Sistema Solar. Os resultados evidenciaram que o senso comum molda esquemas iniciais resistentes, como a ideia de que o Sol não é uma estrela.

- Contribuição: Demonstra a necessidade de diagnosticar conhecimentos prévios para organizar intervenções didáticas que promovam rupturas cognitivas.
- Lacuna: Os autores ressaltam que a TCC ainda é pouco explorada no campo da Astronomia, sugerindo que futuros trabalhos foquem na origem dos erros conceituais.

5. Cruz Jr. e Soltau (2021): Mediação Tecnológica e Consumo Energético

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis que simula um sistema fotovoltaico *off-grid*. Resultou em uma ferramenta viável para ensinar a dinâmica da geração solar de forma intuitiva.

- Contribuição: Fornece representações simbólicas digitais que auxiliam na visualização de conceitos como potência, tensão e corrente.
- Lacuna: O simulador foca apenas no sistema isolado, deixando em aberto a necessidade de incluir sistemas conectados à rede (*on-grid*) e animações dos processos microscópicos.

6. Heusy, Gaulke e Rocha (2022): Revisão Sistemática da Produção em TCC

Realiza uma revisão sistemática de 53 artigos publicados entre 2008 e 2020, categorizando-os conforme a apropriação da TCC: Sequências Didáticas (SDs) fundamentadas na teoria, análises de Invariantes Operatórios (IOs) e estudos de caráter puramente epistêmico. O trabalho destaca que o campo da Física Moderna (Relatividade e Mecânica Quântica) é o que concentra o maior volume de produções sob este referencial. Constatou-se que 87% dos trabalhos estão em revistas de alto impacto (Qualis A1/A2), provando que a TCC é um referencial consolidado e de alta relevância acadêmica.

- Contribuição: Fornece um mapeamento que permite a pesquisadores localizar SDs reprodutíveis e estratégias didáticas já validadas para diversos conteúdos de Física. Serve como balizador para identificar quais áreas da ciência ainda carecem de intervenções baseadas em situações-problema.

- Lacuna: Aponta que a grande maioria das pesquisas se limita ao "acúmulo de informação empírica" (detecção de invariantes), havendo pouco crescimento em profundidade teórica sobre como esses esquemas evoluem em longo prazo.

7. Irineu et al. (2022): Astronomia e Leis da Física via SEI

Propõe o uso da Astronomia como ferramenta motivadora para o ensino de leis da Física através de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI). O estudo envolveu a criação de Cartas Celestes adaptadas à latitude de São Luís (MA) e a exploração de softwares como o Stellarium para mediar a compreensão de coordenadas e gravitação. A contextualização do conhecimento teórico com observações de campo e textos históricos (incluindo tradições indígenas Tupinambás) melhorou significativamente a relação dos estudantes com as Ciências Exatas.

- Contribuição: Demonstra a eficácia da interdisciplinaridade e da história da ciência como "situações potenciais" (S) que dão significado aos conceitos (C) de Vergnaud.

- Lacuna: Evidencia a carência severa de formação continuada para professores na área de Astronomia, o que impede que o tema seja trabalhado de forma sólida e cientificamente correta em um ambiente interdisciplinar. Além disso, aponta dificuldades técnicas na construção de modelos complexos de constelações indígenas.

8. França (2023): Metacognição e o Conceito de Calor

A investigação utilizou a Teoria dos Campos Conceituais articulada a estratégias metacognitivas para enfrentar as dificuldades de aprendizagem sobre o conceito de calor no Ensino Médio, partindo do pressuposto de que as concepções de senso comum dos estudantes frequentemente conflitam com o significado científico. A metodologia envolveu a aplicação de questionários e a análise de áudios de discussões em grupo, o que permitiu à pesquisadora identificar indícios de evolução conceitual e a mobilização de novos esquemas de ação.

- Contribuição: Demonstra que o uso de ferramentas metacognitivas (focadas nos elementos pessoa, tarefa, estratégia, monitoração e avaliação) propicia a tomada de consciência do próprio conhecimento, favorecendo o desenvolvimento da autonomia e da motivação para aprender Física. Além disso, ressalta que as gravações de áudio são cruciais para capturar o "iceberg da conceitualização", revelando invariantes operatórios que não surgem em registros escritos.

- Lacuna: A autora destaca que a estabilização de uma mudança conceitual profunda exige um conjunto muito mais amplo e diversificado de situações do que o aplicado na pesquisa pontual. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda dar maior ênfase inicial aos conceitos de energia interna, trabalho e equilíbrio térmico sob uma ótica molecular, antes de introduzir as definições formais de calor e temperatura.

9. Meireles et al. (2023): Reflexões sobre a Conceitualização na Física

Estudo reflexivo que combate o "ensino memorístico" da Física, onde fórmulas são decoradas sem sentido. O trabalho utiliza o tripé de Vergnaud — Situações (S), Invariantes (I) e Representações (R) — para explicar como a aprendizagem ocorre por meio da reestruturação de esquemas de ação frente a tarefas desafiadoras. Reitera que focar em conceitos-chave e

reduzir o volume excessivo de conteúdo é essencial para que o estudante tenha tempo de testar e aprimorar seus próprios modelos explicativos.

- Contribuição: Ressalta a importância dos sistemas semióticos (linguagem, gráficos, fórmulas) na formalização do conhecimento, defendendo que a representação é uma atividade dinâmica e funcional para dirigir a ação do sujeito.

- Lacuna: Identifica que o conceito de representação na TCC é amplamente ignorado em pesquisas de ensino de ciências, que focam excessivamente na identificação de invariantes operatórios superficiais e imediatos. Aponta a falta de estudos longitudinais que avaliem como os esquemas evoluem ao longo de semestres inteiros.

10. Menezes e Soares (2023): Contextualização e Física Moderna

Propõe uma Sequência Didática (SD) fundamentada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) para o ensino de Física Moderna através da energia solar. O trabalho resultou em uma melhora de 82% na taxa de acerto dos estudantes após a aplicação.

- Contribuição: Reforça a eficácia de relacionar a matriz elétrica brasileira a conceitos abstratos como o *gap* de banda e a dopagem de semicondutores.
- Lacuna: Observou-se dificuldade dos estudantes em manter a autonomia conceitual profunda sem o suporte constante do professor mediador.

11. Faria (2024): História da Ciência e Estrutura da Matéria

O estudo investigou a aprendizagem da estrutura da matéria utilizando uma abordagem histórica e a TCC. Resultou em uma mudança atitudinal positiva dos estudantes frente à ciência como um processo em constante construção.

- Contribuição: Demonstra como a diversidade de situações (experimentos, textos, mapas) favorece a ancoragem de novas ideias.
- Lacuna: Reforça a carência de recursos que facilitem a transição entre o nível macroscópico e o submicroscópico da matéria.

12. Cunha, Ferreira e Ferreira (2025): Concepção Atomista e Aprendizagem Superior

A pesquisa investigou os esquemas de ação de graduandos sobre a natureza corpuscular da matéria à luz da TCC. Revelou que a apropriação de termos científicos ainda é fragmentada e baseada em explicações alternativas.

- Contribuição: Enfatiza que o domínio de um campo conceitual complexo exige tempo e múltiplas classes de situações para a reorganização dos esquemas.

- Lacuna: Deixa em aberto a necessidade de instrumentos de mediação docente que explorem com maior profundidade o movimento intrínseco das partículas e suas interações.

A revisão evidencia que, embora a TCC seja amplamente aceita no ensino de Física, sua aplicação na Energia Solar Fotovoltaica ainda apresenta lacunas críticas. Existe uma conexão clara entre o uso de situações potenciais e o engajamento dos estudantes, mas os trabalhos anteriores mostram que:

1. Muitas abordagens focam na dimensão social (sustentabilidade) sem aprofundar o campo conceitual microscópico (fótons, elétrons, semi-condutores) (Campelo, 2019; Menezes; Soares, 2023).
2. A persistência do "modelo térmico" nas explicações revela que as situações didáticas atuais ainda não são suficientes para provocar a ruptura cognitiva necessária para compreender o efeito fotovoltaico puro (Campelo, 2019; França, 2023).
3. Há uma carência de trabalhos que integrem o dimensionamento técnico residencial (miniprojetos) como uma situação de aplicação que force a mobilização de invariantes operatórios complexos.

Essas lacunas motivam a presente pesquisa a propor uma sequência didática que utilize situações reais de dimensionamento e experimentação para consolidar o campo conceitual da energia solar em nível de ensino médio.

5. METODOLOGIA

5.1. Metodologia de ensino

Este capítulo apresenta, de forma detalhada, a metodologia de ensino adotada nesta pesquisa, retomando a motivação que originou o estudo e descrevendo brevemente a fundamentação teórica, o processo de elaboração e a estrutura cronológica do Produto Educacional desenvolvido. A proposta configura-se como uma pesquisa translacional, cuja finalidade é mobilizar e transpor pressupostos teóricos do campo do ensino e da aprendizagem para situações práticas e dinâmicas no ambiente escolar, aproximando a produção acadêmica das demandas reais da educação básica.

O ensino de Física na educação básica enfrenta, historicamente, o desafio de superar modelos pedagógicos tradicionais, frequentemente centrados na memorização mecânica de fórmulas e procedimentos algorítmicos. Nesse contexto, muitos estudantes encontram dificuldades para estabelecer relações conceituais e construir generalizações a partir de conteúdos apresentados de forma fragmentada. Diante desse cenário, a motivação deste trabalho fundamenta-se na necessidade de promover uma transposição didática qualificada dos saberes científicos, de modo a favorecer sua apropriação significativa no contexto escolar. Busca-se, portanto, tornar o ensino de Física mais próximo da realidade tecnológica que circunda os estudantes, transformando fenômenos físicos em situações instigantes, contextualizadas e passíveis de investigação e resolução.

Para atender a essa demanda, foram estabelecidos como objetivos desta intervenção o desenvolvimento e a aplicação de um Produto Educacional estruturado no formato de uma Sequência Didática (SD). Tal proposta fundamenta-se na Teoria dos Campos Conceituais (TCC), elaborada por Gérard Vergnaud, e utiliza situações potenciais relacionadas à Energia Solar Fotovoltaica como contexto para o desenvolvimento conceitual. A escolha dessa temática visa evidenciar o potencial da teoria na promoção da construção do conhecimento científico pelos estudantes, bem como na articulação entre conceitos físicos, representações e situações-problema.

O Produto Educacional foi elaborado a partir de uma investigação aprofundada da literatura, envolvendo tanto os fundamentos da Teoria dos Campos Conceituais quanto os princípios físicos associados à geração de energia solar fotovoltaica. Além disso, realizou-se uma revisão

sistemática de estudos na área de ensino de Física, com o objetivo de identificar referenciais teóricos consolidados e lacunas de pesquisa que pudessem orientar o desenvolvimento da proposta. O Produto Educacional completo, organizado na forma de um guia didático destinado a professores, encontra-se disponibilizado no Apêndice A desta dissertação.

A estrutura do Produto Educacional foi concebida com base no tripé conceitual da Teoria dos Campos Conceituais, composto por Situações (S), Invariantes Operatórios (I) e Representações Simbólicas (R) (Vergnaud, 1983; 1993; 2017b). Conforme discutido no Capítulo 2, as situações desempenham papel central na atribuição de sentido aos conceitos, pois constituem o contexto no qual os estudantes mobilizam esquemas de ação e constroem generalizações progressivas. Nesse processo, os invariantes operatórios — constituídos por conceitos-em-ação e teoremas-em-ação — orientam a organização do pensamento e a resolução de problemas, bem como a ampliação de campos conceituais concretos e verdadeiros, enquanto as representações simbólicas possibilitam a comunicação, formalização e sistematização do conhecimento construído.

Com base nesses pressupostos teóricos, e considerando o papel do professor como mediador e organizador de situações de aprendizagem, o Produto Educacional proposto nesta pesquisa consiste na elaboração de uma sequência didática estruturada em situações potenciais, capazes de mobilizar o interesse dos estudantes do ensino médio pelo estudo da Física. Busca-se, assim, favorecer a construção progressiva de significados conceituais, articulando fenômenos físicos, representações e aplicações tecnológicas associadas à energia solar fotovoltaica.

5.1.1. Fundamentação da Sequência Didática (SD)

Uma Sequência Didática (SD) é compreendida como um conjunto organizado de atividades, estratégias e intervenções planejadas com o objetivo de promover a compreensão de um determinado tema, permitindo ao professor aprimorar sua prática pedagógica a partir do conhecimento das variáveis que intervêm no processo de aprendizagem. Segundo Zabala (1998), a eficácia de uma SD reside na articulação de atividades cujos objetivos e finalidades são compartilhados entre docentes e discentes, favorecendo o aprofundamento de conceitos e procedimentos.

Nesta investigação, optou-se pela estrutura de uma Sequência Didática (SD), concebida para traduzir fenômenos físicos em situações-problema significativas e passíveis de resolução,

conduzindo os estudantes à construção do conhecimento científico por meio de seu protagonismo. Embora a proposta dialogue com pressupostos do ensino por investigação, sua organização se estrutura como uma SD, conforme a perspectiva de Zabala (1998). Nesse sentido, a proposta organiza-se a partir de problemas contextualizados, que mobilizam os estudantes a pensar e a atuar sobre variáveis relevantes do fenômeno estudado (Carvalho, 2013). No contexto deste trabalho, o miniprojeto de dimensionamento residencial e as atividades experimentais com kits fotovoltaicos assumem o papel de situações norteadoras, exigindo a mobilização de conhecimentos para a resolução de demandas energéticas do cotidiano.

O desenvolvimento da SD contempla etapas fundamentais, como o levantamento de conhecimentos prévios, a experimentação planejada e a sistematização do conhecimento, visando à transição do saber espontâneo para o saber científico. Essa abordagem articula-se à Teoria dos Campos Conceituais (TCC), na medida em que as situações constituem a "porta de entrada" para a construção de significados, conferindo sentido aos conceitos científicos. Assim, ao propor tarefas investigativas no contexto da energia solar, possibilita-se que os estudantes mobilizem seus esquemas e invariantes operatórios na elaboração de soluções fundamentadas.

De acordo Vergnaud (2013) e Moreira (2002) o domínio de um campo conceitual é um processo gradual e prolongado, que exige a diversificação de situações para favorecer a reorganização dos esquemas mentais diante dos desafios propostos. Nesse sentido, a SD elaborada neste trabalho busca oferecer múltiplas situações — envolvendo cálculos, atividades experimentais e discussões sociocientíficas — que promovam rupturas e filiações conceituais, contribuindo para a compreensão do efeito fotovoltaico para além do senso comum, especialmente no que se refere à superação de concepções equivocadas, como a associação entre calor e geração de energia elétrica.

5.1.2. Estrutura e Organização da Sequência

A Sequência Didática foi organizada de modo a propiciar a construção e a exploração de situações potenciais, voltadas à análise e à aplicação dos pressupostos da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), previamente discutidos. Nesse contexto, a análise proposta busca identificar, no desenvolvimento das atividades, a progressão das habilidades cognitivas dos estudantes, especialmente no que se refere à transição das Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS) para as Habilidades Cognitivas de Ordem Superior (HOCS).

Essa abordagem fundamenta-se na integração entre teoria e prática, permitindo observar como os estudantes mobilizam conhecimentos em diferentes níveis de complexidade, avançando de processos mais operacionais e reprodutivos para níveis mais elaborados, que envolvem análise, síntese, argumentação e resolução de problemas. Dessa forma, a Sequência Didática não apenas operacionaliza os princípios da TCC, mas também se constitui como um instrumento para investigar o desenvolvimento cognitivo dos estudantes em situações de aprendizagem contextualizadas. O Quadro 2 abrange o quantitativo de aulas, as atividades e situações propostas e a conexão com a TCC em cada situação.

Quadro 2 - Cronograma e Conexão Teórica da Sequência Didática

Aula	**Atividade / Situação**	**Duração**	**Conexão Teórica (TCC)**
1 e 2	Levantamento de Conhecimentos Prévios através de questionário individual e Jogo Didático através do Kahoot.	100 min	Identificação de esquemas iniciais, conceitos e teoremas-em-ação intuitivos.
3 e 4	Conceitualização: Aula expositiva através de slide e elaboração de miniprojeto de cálculo residencial.	100 min	Introdução de novos invariantes operatórios (fótons, gap de energia, semicondutores).
---	Intervalo de Assimilação (Recesso/Tempo Cognitivo).	2 meses	Tempo necessário para a reorganização e sedimentação dos esquemas mentais.
5 e 6	Lembrança estimulada: Breve conversa inicial sobre aulas passadas, com preenchimento de post-it sobre tópicos lembrados. Prática Experimental: Uso de mini placas e multímetros para variar ângulos e sombras.	100 min	Verificação de conceitos fixados após período dos 2 meses. Variação sistemática de situações para forçar o confronto de esquemas e validação de invariantes.
7 e 8	Palestra Técnica e elaboração de Relatório Final de Síntese.	100 min	Explicitação do conhecimento (saber dizer) e uso de representações simbólicas técnicas.

Fonte: Elaboração própria, 2026.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo descreve o percurso investigativo da pesquisa, detalhando o contexto de aplicação do Produto Educacional, bem como os procedimentos adotados para a coleta, análise e interpretação dos dados. Configura-se como um estudo de caso de natureza qualitativa, com abordagem interpretativa e interventiva.

Após a fundamentação teórica e a organização da Sequência Didática (SD), discutidas no capítulo anterior, esta seção dedica-se a explicitar como a intervenção foi operacionalizada e de que maneira as manifestações dos estudantes foram analisadas, a fim de identificar indícios de aprendizagem significativa e da construção de novos invariantes operatórios.

Além disso, apresenta-se uma análise estruturada dos resultados obtidos, fundamentada na Teoria dos Campos Conceituais (TCC) e nos níveis cognitivos propostos por Zoller.

6.1. Contexto e sujeitos da pesquisa

A aplicação da SD ocorreu entre os meses de junho e setembro, respeitando o tempo de maturação cognitiva preconizado pela literatura da TCC. O público-alvo foi uma turma de 2º ano do Ensino Médio em tempo integral de uma escola pública estadual com base de 34 estudantes matriculados inicialmente, frequentes e participativos. A Escola localiza-se no município de Dourados – MS, em uma região de bairro com perfil socioeconômico de baixa a médio nível. A escolha deste nível de ensino justifica-se pelo alinhamento com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e o Currículo de Referência do Estado de Mato Grosso do Sul, que preveem o estudo de formas de energia e tecnologias contemporâneas. A pesquisa foi aplicada com a autorização da Gestão Escolar e também após termo de autorização de uso de dados por parte dos responsáveis dos estudantes.

Durante as atividades, os estudantes realizaram atividades individuais e em grupos para favorecer a aprendizagem colaborativa e a troca de modelos explicativos, buscando a ampliação das suas representações simbólicas. O pesquisador assumiu o papel de professor-mediador, intervindo sem ferir a autonomia dos estudantes, provocando o conflito cognitivo necessário para que os estudantes deixassem de ser passivos e se tornassem protagonistas de sua própria aprendizagem.

O Quadro 3 organiza a aplicação da sequência bem como as inferências situacionais ocorridas nas aplicações.

Quadro 3– Aplicação do produto educacional

Aula	**Atividade / Situação**	**Data de aplicação**	**Comentário sobre as inferências situacionais**
1 e 2	Levantamento de Conhecimentos Prévios através de questionário individual e Jogo Didático através do Kahoot.	16/06	As aulas foram participativas, com frequência de 30 estudantes no dia, e demonstrativo de interesse e entusiasmo no jogo didático. Algumas barreiras tecnológicas foram vivenciadas, como estudantes que não possuíam celular, bem como situações escolares de estudantes que foram embora entre as aulas devido a motivos pessoais.
3 e 4	Conceitualização: Aula expositiva através de slide, questionário e elaboração de miniprojeto de cálculo residencial.	01/07	As aulas foram dividas pelo período do intervalo do almoço, entre os frequentes tivemos 28 estudantes, porém o rendimento após o período do almoço foram mais baixo. Os estudantes se demostraram mais cansados.
---	Intervalo de Assimilação (Recesso/Tempo Cognitivo).	2 meses	Tempo necessário para a reorganização e sedimentação dos esquemas mentais.
5 e 6	Lembrança estimulada: Breve conversa inicial sobre aulas passadas, com preenchimento de post-it sobre tópicos lembrados. Prática Experimental: Uso de mini placas e multímetros para variar ângulos e sombras.	26/08 e 09/09	Nessas aulas tivemos a frequência de 32 estudantes, que após a atividade com o pos-it se dividiram em grupos. Os estudantes estiveram motivados e entusiasmos com a prática e na coleta de dados e respostas das verificações e contestações realizadas.
7 e 8	Palestra Técnica e elaboração de Relatório Final de Síntese.	16/09 e 23/09	Na aula da palestra tivemos a frequência de 27 estudantes e na aula de relatório

			final de 24 estudantes. Na palestra os estudantes se envolveram e tiveram participação com questionamentos e a vivência do conhecimento sendo aplicado na prática e a possibilidade de mercado de trabalho futuro. No relatório final, os estudantes realização a formação do saber fazer em forma precatória. Transpondo os símbolos e representações e avaliando a sequência didáticas e instrumentos e situações realizadas.

Fonte: Elaboração própria, 2026.

De forma geral, a aplicação foi considerada exitosa, apresentando participação ativa e colaboração por parte dos estudantes. Entretanto, em função das características do público atendido, observou-se uma rotatividade na frequência às aulas. Por exemplo, alguns estudantes participaram apenas das aulas 1 e 2 e retornaram posteriormente nas aulas 5 e 6 ou nas aulas 7 e 8.

Além disso, durante o período de aproximadamente dois meses de aplicação, ocorreram transferências de alguns estudantes, enquanto outros realizaram matrícula nesse intervalo e passaram a participar das atividades apenas na etapa final do produto educacional.

Diante desse contexto, entre todos os estudantes envolvidos, obteve-se a efetivação completa da coleta de dados, em todas as etapas da aplicação, para um total de 19 estudantes, conforme apresentado na Tabela 4. A organização dessa tabela utiliza uma codificação para preservar a identidade de cada participante, de modo que, ao longo da apresentação dos dados coletados e de sua análise, essa identificação seja utilizada como referência.

No Quadro 4, o registro indicado por “X” corresponde à presença do estudante, enquanto o símbolo “–” indica sua ausência. O estudante A23 foi transferido durante o período de férias, ao passo que os estudantes A33 e A34 realizaram matrícula após o início da aplicação.

Quadro 4 - Frequência dos estudantes durante as etapas da Sequência didática

Código do estudante	Levantamento dos conheci-mentos prévios	Jogo	Aula expositiva	Prática	Palestra	Relatório final
A1	X	X	X	X	X	X
A2	X	X	X	X	X	X
A3	X	X	X	X	X	X
A4	X	X	X	X	X	X
A5	X	X	X	X	X	X
A6	X	X	X	X	X	X
A7	X	X	X	X	-	X
A8	X	X	X	X	X	-
A9	X	X	X	X	X	X
A10	X	X	X	X	X	X
A11	X	X	-	X	X	X
A12	X	X	X	X	X	X
A13	X	X	X	X	-	-
A14	X	X	X	X	X	X
A15	X	X	-	X	X	-
A16	X	X	X	X	X	X
A17	X	X	X	-	-	-
A18	X	X	X	X	X	-
A19	X	X	X	X	X	X
A20	X	-	-	X	X	-
A21	X	X	-	X	X	-
A22	X	X	X	X	X	-
A23	X	X	X	TR	-	-
A24	X	X	X	X	X	X
A25	X	X	X	X	X	X
A26	X	-	X	X	X	X
A27	X	X	-	X	X	X
A28	X	X	X	X	X	X
A29	X	X	X	X	-	-
A30	X	X	X	X	X	X
A31	-	-	X	X	X	X
A32	-	-	X	X	-	X
A33	-	X	X	X	-	-
A34	-	-	-	X	X	X
TOTAL	**30**	**29**	**28**	**32**	**27**	**23**

Fonte: Elaboração própria, 2026.

Conforme mencionado anteriormente, a coleta eficaz de dados ao longo de todo o processo da sequência didática foi realizada com 19 estudantes, a saber: A1, A2, A3, A4, A5,

A6, A7, A9, A10, A11, A12, A14, A16, A19, A24, A25, A26, A28 e A30. Esses estudantes serão utilizados como referência nas etapas subsequentes da dissertação.

6.2. Instrumentos de Coleta e Constituição dos Dados

Para garantir a credibilidade e a validade interpretativa desta investigação, a constituição dos dados pautou-se na triangulação de múltiplas fontes, procedimento que, de acordo com Rocha e Catarino (2020), possibilita visões distintas do mesmo fenômeno e aumenta significativamente a fidedignidade das evidências encontradas. A utilização de uma diversidade de fontes de informação permite validar as análises realizadas, buscando a compreensão do fenômeno por meio de duas ou mais perspectivas metodológicas. Segundo Flick (2013), o ideal em estudos qualitativos é utilizar ao menos três fontes de coleta de dados para validar ou ampliar as interpretações do pesquisador.

Entre os principais instrumentos utilizados, destacam-se os questionários de pré e pós-teste, descritos por Campelo (2019) como fundamentais para o mapeamento dos esquemas iniciais e para a verificação da evolução conceitual dos estudantes após a aplicação da Sequência Didática (SD). Esse procedimento permite comparar o estágio inicial de conhecimento com o amadurecimento e a reorganização dos esquemas após a intervenção pedagógica. Tais registros representam os estados mais estáveis do sistema cognitivo do estudante ao longo do processo.

Complementarmente, foram adotados registros de campo e observação participante, realizados por meio de anotações da pesquisadora. De acordo com Lüdke e André (1986), essa técnica permite um contato pessoal com o objeto da investigação e o acompanhamento das experiências dos sujeitos em seu contexto real. A observação possibilita capturar fatores que nem sempre são externados verbalmente, como os gestos, que auxiliam na caracterização dos modelos implícitos dos estudantes.

Os registros fotográficos e audiovisuais assumem uma função técnica primordial nesta investigação, pois permitem a captura de diálogos e momentos realizados pelos estudantes durante os trabalhos em grupo. Esses registros constituem o substrato empírico necessário para a inferência de teoremas-em-ação e conceitos-em-ação implícitos, os quais frequentemente permanecem ocultos ou não são totalmente verbalizados na linguagem escrita. Sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais, tais invariantes operatórios representam a "parte escondida do iceberg" da conceitualização, sendo os elementos cognitivos essenciais que tornam a ação do sujeito operatória frente a uma situação. Reforçando essa perspectiva metodológica, Pacheco e

Zanella (2021) salientam que o pesquisador deve realizar a análise interpretativa a partir da totalidade das manifestações disponíveis — incluindo a observação participante, notas de campo e produções orais — visando identificar indícios de aprendizagem e a organização do pensamento dos estudantes.

Por fim, a análise incorporou as diversas produções dos estudantes, incluindo a construção de resumo e apontamentos estruturados nas aulas de contextualização, os cálculos de dimensionamento do miniprojeto residencial e os relatórios de práticas experimentais. Tais materiais funcionam como representações simbólicas (conjunto R) da organização cognitiva e evidenciam o domínio de conceitos alcançados pelos sujeitos-em-ação. Essas manifestações são interpretadas como evidências dos esquemas em ação, permitindo identificar como os estudantes pensam, explicam e representam os conceitos científicos estudados.

6.3. Aplicação da sequência didática

Nesta seção, apresenta-se de forma detalhada e cronológica a Aplicação da Sequência de Didática (SD), descrevendo o percurso da intervenção no ambiente escolar e a constituição dos dados em cada etapa. A estruturação deste relato e os procedimentos de levantamento de dados fundamentam-se em metodologias consolidadas em dissertações e teses da área de Ensino de Física que utilizam a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) como referencial analítico (Campelo, 2019; Ribeiro, 2020; França, 2023; Faria, 2024), nas quais a descrição minuciosa das situações vivenciadas pelos estudantes permite identificar a evolução de seus esquemas de ação.

Seguindo o modelo de exposição adotado em trabalhos de referência que articulam a TCC ao ensino de Física, como Campelo (2019) e Ribeiro (2020), cada aula ou encontro da sequência é apresentado relacionando a situação proposta aos dados específicos levantados, como registros escritos e produções experimentais. Como aponta Vergnaud (1990), o domínio de um campo conceitual é um processo lento e gradual, o que justifica a necessidade de acompanhar as trajetórias de aprendizagem passo a passo para evidenciar a progressão do conhecimento operatório para o predicativo.

Dessa forma, cada etapa da aplicação buscou capturar o que Moreira (2002) denomina como a "trama" do campo conceitual, identificando como os estudantes mobilizam seus conhecimentos prévios e enfrentam situações de conflito cognitivo. Para inferir os invariantes operatórios — especificamente os teoremas-em-ação e conceitos-em-ação — utilizou-se a observação participante e o registro de gestos e falas, elementos que constituem a "parte

escondida do iceberg" da conceitualização e que, segundo Pacheco e Zanella (2021), são fundamentais para uma análise qualitativa fidedigna.

As seções subsequentes detalham a aplicação das oito aulas da sequência, correlacionando o engajamento dos estudantes nas tarefas de dimensionamento e experimentação fotovoltaica com a construção de campos conceituais mais ricos.

E Ao final deste capítulo, apresenta-se a análise detalhada dos dados levantados nesta seção, fundamentada na transição dos estudantes entre as Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS) e as Habilidades Cognitivas de Ordem Superior (HOCS), articuladas aos níveis de evolução conceitual da Teoria dos Campos Conceituais.

6.3.1. Aula 1 – Levantamento dos conhecimentos prévios - precursores

No primeiro encontro com os estudantes, a professora-pesquisadora explicitou que, ao longo das aulas subsequentes, os estudantes investigariam a Energia Solar Fotovoltaica por meio de uma diversidade de situações. No entanto, fundamentada na Teoria dos Campos Conceituais (TCC), ressaltou-se a necessidade imperativa de realizar um diagnóstico inicial para compreender os esquemas de pensamento que os estudantes já possuíam sobre a temática.

Segundo Vergnaud (1990), o conhecimento prévio é determinante no domínio progressivo de um campo conceitual, podendo atuar tanto como suporte quanto como um impeditivo para a nova aprendizagem.

Para organizar essa etapa diagnóstica, a professora apresentou no quadro branco os quatro blocos estruturantes que compunham o instrumento de levantamento:

- Bloco 1: Fontes de Energia renováveis e não renováveis;
- Bloco 2: Geração de Energia solar no Brasil;
- Bloco 3: Funcionamento do Efeito Fotovoltaico;
- Bloco 4: Fatores de Eficiência: óptica aplicada ao efeito fotovoltaico.

Antes do registro individual, foram concedidos 10 minutos para a socialização, momento em que os estudantes puderam externalizar suas concepções espontâneas. Essa estratégia baseia-se na perspectiva de Vygotsky sobre a importância da interação social e da linguagem no desenvolvimento cognitivo, visando identificar a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) da turma, e associando aos pontos em comum nas Teorias de Vergnaud e Vygotsky discutida

anteriormente. Durante esse período de escuta ativa, a pesquisadora capturou manifestações que revelam importantes invariantes operatórios e obstáculos epistemológicos, tais como:

"O calor faz gerar a energia solar": evidenciando o obstáculo térmico, onde o estudante aplica um esquema da Termodinâmica para explicar um fenômeno da Física Moderna.

"Fontes renováveis são melhores pois não acabam": caracterizando um teorema-em-ação de natureza normativa e socioambiental.

"Nunca ouvi falar sobre fotovoltaico": indicando uma ausência inicial de esquemas estruturados no subcampo microscópico.

Após essa breve interação, e visando transpor o conhecimento do nível implícito para o explícito, a professora solicitou que os estudantes respondessem, de forma individual e utilizando apenas material básico de escrita, ao questionário de conhecimentos prévios.

Tais respostas são interpretadas como precursores cognitivos, revelando os esquemas já construídos pelos sujeitos a partir de suas experiências cotidianas. O questionário completo, encontra-se disponível no Apêndice A desta dissertação e integra o Produto Educacional desenvolvido.

A Figura 8, mostra o momento da coleta de dados com a aplicação do questionário inicial.

Figura 8 – Estudantes durante a aplicação do questionário inicial

Fonte: Autoria própria, 2026.

Os dados coletados durante esta etapa diagnóstica foram organizados conforme os blocos temáticos estruturantes do instrumento de levantamento de conhecimentos prévios. No desenvolvimento do Bloco 1 – Fontes de energia renováveis e não renováveis, os estudantes foram confrontados com duas situações-problema de natureza macroscópica e socioambiental:

1. *"Em uma comunidade isolada, há escassez de combustíveis fósseis e grande disponibilidade de vento e sol. Como essa comunidade poderia gerar energia de forma sustentável? Quais obstáculos poderiam surgir?"*
2. *"Se todos os países substituíssem imediatamente suas fontes fósseis por renováveis, quais seriam os impactos (positivos e negativos) no cotidiano das pessoas?"*

As respostas obtidas durante essa etapa foram transcritas em seus trechos mais significativos e sistematizadas no Quadro 5. Dessa forma, para cada resposta analisada, são identificados e relacionados os seguintes elementos centrais da TCC:

- Esquema: A organização invariante do comportamento do estudante frente à situação proposta.
- Conceitos-em-ação: As categorias de pensamento (objetos ou predicados) que o estudante considera pertinentes para lidar com o problema (ex: energia renovável, custo, impacto ambiental).
- Teoremas-em-ação: As proposições que o sujeito toma como verdadeiras sobre o real para organizar sua ação, sendo passíveis de classificação quanto à sua coerência científica.
- Invariante Operatório: O conjunto articulado de conceitos e teoremas que estrutura a organização cognitiva e permite inferir o nível de evolução conceitual do estudante naquele domínio.

Esta sistematização permite observar a transição entre o conhecimento espontâneo e o científico, fundamentando a análise longitudinal da evolução conceitual ao longo da sequência didática.

Quadro 5 – Dados coletas dos levantamentos prévios da temática – Bloco 1: Fontes de Energia renováveis e não renováveis.

CÓD.	Trecho de resposta	Esquema	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Invariantes operatórios
A1	“Trocar as fontes fósseis por renováveis teria muitos benefícios até porque as fontes fósseis não são renováveis.”	Sustentabilidade	Fontes renováveis; fontes não renováveis; benefícios.	"Troca fonte fóssil por renovável produz benefícios."	Concepção baseada na suposição que fontes renováveis são melhores que as fósseis, porém sem justificativa do motivo do benefício.
A2	"Poderia gerar uma energia de forma sustentável com a energia hidráulica"	Comparação sustentável	Sustentável; energia hidráulica	“Renovável é sustentável”	Sustentabilidade associada à fonte renovável
A3	"Placas solares"	Nomeação simples	-	-	Associação direta entre energia solar e presença de placas
A4	"Poderiam usar velas, cataventos, fogueiras.." "Alguns dias as fontes renováveis falhassem e ocorreria a falta de energia para que poderia ocorrer problemas.	Sustentabilidade + risco	Renováveis; falhas	“Renováveis podem falhar”	Fontes renováveis possuem limitações operacionais
A5	"Usar a energia hidraulica porque é renovável, os obstáculos seriam como iria funcionar." "Os benefícios de usar fontes renováveis seria os custos."	Sustentabilidade econômica	Renovável; custo	“Benefícios incluem menor custo”	Viabilidade energética relaciona-se a custo-benefício
A6	"Com a geração de energia solar e eólica, o único obstáculo seria o peso monetário e econômico." "Positivamente, tudo seria mais limpo e	Sustentabilidade econômica	Custo; acesso; carro elétrico	“Custo limita acesso”	Adoção tecnológica depende do custo inicial

	fácil de acessar, mas negativamente seria difícil ter por exemplo, carro elétrico."				
A7	"Poderiam utilizar a energia eólica (gerada através dos ventos), e a energia solar (gerada do sol). Os obstáculos seriam saber manusear esses equipamentos que geram energia." "Os impactos seriam um mundo com menos poluição e mais sustentável. Eu acho que os negativos seriam que as industrias que trabalham com fontes não renováveis iriam cair.	Sustentabilidade social	Eólica; solar; impacto ambiental	"Renováveis reduzem poluição"	Fontes renováveis reduzem impactos ambientais
A9	"Não sei" "Não faço ideia"	Ausência de mobilização de esquema frente à situação-problema	-	-	-
A10	"Não sei a resposta adequada"	-	-	-	-
A11	"Poderia gerar energia por meio do vento chamada energia eólica e por meio do sol chamada energia solar"	Fonte natural disponível significa geração	Solar, eólica	Sol e vento geram energia sustentável	Fonte natural → geração
A12	" Poderiam fazer placas solares e grandes cata-ventos para gerar energia. Teriam problemas com verba porque acredito que seria bem caro" "Acredito que não teria impactos negativos em relação a isso, pois, acredito que	Análise socioambiental sistêmica	Energia renovável, custo, impacto ambiental	Renovável é ambientalmente melhor	Sustentabilidade como critério decisório

	usar energia renovável seria bem melhor."				
A14	"Fazendo tipo algumas maquinas que automaticamente funciona apenas pelo sol e o vento" "Usar placa solar iria ser um ponto positivo, pois eu acho que não iria gasta muita energia".	Fonte natural - máquina automática – economia	Placa solar	Sol gera energia	Associação simples fonte gera geração de energia
A16	"Poderiam criar usinas de energia eólica ou solar, mas iriam necessitar de placas solares ou torres eólicas e bastante espaço para instalar estes equipamentos, e isso afetaria a paisagem." "Redução do aquecimento global e poluição pela emissão de carbono, melhoria na qualidade de vida das pessoas e da biodiversidade, possíveis problemas como fauna machucada ou falta de vento ou sol para suprir a demanda"	Socioambiental sistêmico	Solar, eólica, carbono	Renováveis reduzem poluição	Sustentabilidade ambiental
A19	"Sei lá"	-	-	-	-
A24	"Poderia usar o sol para transformar em energia, tendo energia a vontade, e o vento para ter energia eólica que também tem uma fusão importante mas não sei." "Positivos seria que não afetaria tanto o ambiente e possivelmente o lado	Abundância solar	Solar, eólica	Renovável não afeta tanto ambiente	Sustentabilidade

	negativo seria o número de produtividade diminui."				
A25	"Poderiam gerar energia de forma solar e eólica, usando para o sol placas solares e moinhos de vento. Alguns obstáculos seria falta de vento e sol, também a manutenção de ambos." "Afetaria muito movimento por conta de carros, e as fabricas seriam afetadas. O ponto positivo seria poluição diminuindo, já que uma das coisas mais poluentes no cotidiano são os veículos a combustão."	Conjunto eólico solar	Solar, eólica	Renovável reduz poluição	Sustentabilidade ambiental
A26	"Poderia ser gerada energia solar, os obstáculos poderiam ser chuvas intensas, céu nublado, onde pode-se perder o contato com a luz solar." "Positivo, pois a extração de fontes fósseis polui muito a atmosfera, enquanto as renováveis não."	Causal climático	Energia renovável, clima, poluição	Renovável polui menos; sem sol não há geração	Sustentabilidade e dependência climática
A28	"Com o vento e o sol como forma de gerir energia poderia aproveitar o sol para fazer um sistema com placas solares para gerar energia tem como obstáculo a ausência do sol e em determinados	sistêmico energético	Energia renovável, complementaridade	Diversificar fontes melhora sustentabilidade	Integração sistêmica da matriz energética

	climas, e na energia eólica na ausência dos ventos, os mesmos não gerariam o suficiente." "Se os países optarem por energia renovável acho que teria um bom impacto positivo no meio ambiente, seria bem diferente para as pessoas, energia sustentável."				
A30	"Como a comunidade tem disponibilidade vento e sol, fontes renováveis com energia eólica e solar, poderiam ser aplicadas. Alguns obstáculos que podem surgir são os custos elevados da aplicação e manutenção, fenomenos naturais, como chuva, períodos de secas podem ser um obstáculo." "Positivo: diminuição do aquecimento global, planeta mais sustentável, melhoria da condição da fauna e flora. Negativo: Falta de acessibilidade, custos muito elevados, poluição visual."	socioambiental integrado	Disponibilidade regional, custo	Custos dificultam implantação	Viabilidade socioeconômica

Fonte: Elaboração própria, 2026.

Analisando as respostas do Bloco 1, nota-se que os estudantes possuem uma compreensão predominantemente voltada às dimensões ambientais, sociais e econômicas sobre

a energia solar. De modo geral, reconhecem essa fonte como renovável e associam seu uso à redução de impactos ambientais, especialmente em comparação com combustíveis fósseis, como observado nas respostas de A1, A2, A5, A7, A12 e A28.

Também aparecem, referências ao custo de implementação e à acessibilidade da tecnologia, indicando uma preocupação com aspectos socioeconômicos, conforme destacado por A6, A11 e A25. Além disso, são mencionados fatores climáticos, como a presença de sol, chuvas e nebulosidade, como determinantes para a viabilidade da geração de energia solar, como evidenciado nas respostas de A4, A24 e A26.

Essas respostas revelam uma relação direta estabelecida entre a disponibilidade de radiação solar e a produção de energia, ainda que formulada de maneira intuitiva. Observa-se, portanto, que os estudantes mobilizam conhecimentos provenientes do cotidiano e de discussões difundidas socialmente, construindo explicações coerentes no âmbito macroscópico. No entanto, essas explicações ainda não avançam para uma compreensão mais aprofundada dos mecanismos físicos envolvidos, permanecendo centradas em aspectos perceptíveis e contextuais, como também se observa nos estudantes A3, A14 e A30. E em alguns casos, como observado nos estudantes A9, A10 e A19 não se tem nenhum desenvolvimento inicial realizado.

No desenvolvimento do Bloco 2 – Geração de energia solar no Brasil, os estudantes foram confrontados com duas situações-problema que exigiam articulação entre clima, geografia e fatores econômicos da matriz energética brasileira.

1. *"Uma fazenda solar foi instalada em uma região. Que características climáticas e geográficas podem beneficiar ou prejudicar sua operação?"*

2. *"O Brasil é um país com alta incidência solar. Por que a energia solar ainda representa uma parcela relativamente pequena da matriz energética nacional?*

As respostas obtidas durante essa etapa foram transcritas em seus trechos mais significativos e sistematizadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Dados coletas dos levantamentos prévios da temática – Bloco 2: Geração de energia solar no Brasil.

CÓD.	Trecho de resposta	Esquema	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Invariantes operatórios
A1	"O clima pode trazer benéficos ou prejudir, pois muito sol ajuda na produção, o que pode acumular energia para os dias de chuva." "Energia solar ainda é pequena no Brasil porque para colocar placas solares é muito caro, as placas e o serviço do especialista."	Clima-produção + custo	Clima; incidência solar; produção; armazenamento; custo; instalação; especialista.	“Mais sol significa mais produção”; “Energia pode ser acumulada”; “Tecnologia cara siginifica menor adoção”	1) Produção depende da incidência solar e pode ser compensada por armazenamento 2) A expansão tecnológica depende do custo de implementação
A2	"Não sei"	-	-	-	-
A3	"Não sei"	-	-	-	-
A4	"Se não tiver a energia do sol, pode occorrer falhas e também dependendo das mudanças climáticas pode ocorrer problemas na geração de energia" "A energia utilizada no Brasil é a energia não renovável, por isso temos poucas utilização da energia solar."	Dependência climática	Sol; clima; energia não renovável	“Sol é essencial para produção”	Produção depende da presença de radiação solar direta
A5	"Pode beneficiar pois estaria em uma área aberta e mais livre." "Porque há outras meios de energia que são usados no Brasil além da solar."	Diversidade energética	Outras fontes; região	“Existem outras fontes além da solar”	Matriz energética é diversificada conforme contexto regional
A6	"O dia ensolarado e locais áridos benificiariam muito, um lugar chuvoso e	Clima-geografia	Ensolarado; localização; mão de obra	“Insolação e localização influenciam produção”	Produção depende de localização

	nublado, ao contrário disso." "Pelo custo de mão de obra de uma placa solar ou pelo local geográfico e climático"				geográfica e insolação
A7	"Uma região que beneficiariam seria que não tenha tanta chuva, uma região mais ensolarada. A chuva e a ausência do sol, são caso dos raios solares iriam prejudicar a operação." "Ao meu ver, é porque as pessoas não tem conhecimento. Deveria ser algo mais publico que não necessitaria pagar para instalação dos aparelhos."	Clima + política pública	Região ensolarada; acesso público	“Clima interfere”; “Custo limita acesso”	Condições climáticas e acesso econômico determinam produção
A9	"Não sei"	Ausência de mobilização de esquema frente à situação-problema	-	-	-
A10	"Não sei"	-	-	-	-
A11	"Não sei"	-	-	-	-
A12	"Para beneficiar seria o sol, e para prejudicar seria chuvas excessivas, clima nublado. Em relação as características geográficas eu não sei dizer muito" "Acredito que seja porque em determinados lugares do mundo não faz muito sol e o clima é bem nublado e congelante,	Clima ensolarado gera mais	Clima, incidência solar	Muito sol favorece produção	Dependência climática

	chegando até a fazer neve."				
A14	"Chuva, tempestade, vento muito forte, eu acho" "Não sei muito bem."	Clima interfere na geração	Chuva, vento	Clima pode prejudicar	Dependência climática
A16	"Muito sol, planícies extensas e nivelamento regular, calor na maioria do ano e poucas chuvas. Prejudircar - Muita chuva, pouco sol, falta de áreas plantadas ou muitas irregularidades no nivelamento do solo."	Climático-geográfico	Insolação, chuva	Muito sol favorece	Dependência climática
A19	"Calor, frio, chuva" "Não sei"	-	Calor	Calor influencia	Modelo térmico
A24	"Campo aberto com muito sol pode beneficiar, enquanto pode ter muito vento ou chuvas o que pode prejudicar.." "Seria parcela relativamente pequena por conta do preço inicial, tipo o custo da placa, da instalagem entre outros alguns fatores."	Relação custo a geração	Custo inicial	Energia solar é cara	Fator econômico limita expansão
A25	"Geralmente essas fazendas solares são feitos em locais abertos, então assim teria bastante concentração solar nas placas. Do que prejudicaria seria a limpeza das placas e quando estiver sem sol." "Pelo fato do seu valor elevado, acabando	Viabilidade climática e geográfica	Local aberto	Muito sol favorece	Dependência climática

	não sendo possível pessoas colocarem"				
A26	"Beneficiar lugares abertos sem muitas árvores, com climatização quente. Prejudicar: climatização fria, com ecesso no ambiente - chuvas.""Porque o preço de placas solares são muito altas, assim muitas pessoas não conseguem ter acesso por causa da pobreza."	Relação clima e viabilidade	Clima, custo, viabilidade	Placas solares são caras; clima interfere na produção	Relação custo–viabilidade; dependência climática
A28	"Uma caracteristica climática seria o calor intenso na região que poderia contribuir para a geração de energia quanto também uma boa planície." "O Brasil é um país com um fluxo flúvil muito grande isso significa que nosso país tem muita água e por isso a energia solar ainda representa uma parte pequena."	geográfico-energético	Clima regional, matriz energética	Calor favorece produção	Dependência climática regional
A30	"Normalmente, em fazendas há grandes índices de calor, que pode ser considerados um benefício. Já algumas carateristicas geográficas, como relevo afetam a sua instalação." "Por que energia solar, apresenta custos elevados, que a maioria dos estados	causal climático simples	Calor e geração	Mais calor gera mais energia	Modelo térmico simplificado

	não conseguem pagar."				

Fonte: Elaboração própria, 2026.

No Bloco 2, as respostas dos estudantes indicam uma ampliação das variáveis consideradas na análise da geração de energia solar, com maior ênfase nos fatores climáticos e ambientais. Há o reconhecimento que elementos como intensidade da luz solar, condições meteorológicas e localização geográfica influenciam diretamente a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, como evidenciado nas respostas de A1, A4, A7, A9, A19, A24 e A26.

Além disso, alguns estudantes passam a incorporar aspectos relacionados à infraestrutura e ao acesso à tecnologia, como custos e disponibilidade de instalação, como observado em A2, A6, A11 e A25. Nota-se também a presença de explicações que relacionam a produção de energia à quantidade de sol disponível ao longo do tempo, indicando uma tentativa de sistematização da relação entre variáveis ambientais e geração energética.

Apesar desse avanço, as explicações permanecem, em sua maioria, ancoradas em um nível macroscópico, sem aprofundamento nos processos físicos envolvidos. Em alguns casos, ainda se observam concepções associadas ao calor como fator determinante da geração, como nas respostas de A10, A14 e A30, indicando a permanência de esquemas intuitivos.

No desenvolvimento do Bloco 3 – Funcionamento do efeito fotovoltaico, os estudantes foram confrontados com três situações-problema que exigiam a mobilização de um esquema microscópico envolvendo semicondutores, excitação eletrônica e interação fóton-matéria:

1. *"Como a luz solar consegue gerar eletricidade em um painel solar? O que acontece com os elétrons no interior do material semicondutor?"*

2. *"Por que nem toda a luz que atinge o painel se transforma em energia elétrica? O que limita esse processo?"*

3. *"O que aconteceria se um painel solar fosse exposto à luz de uma lanterna comum? Ele geraria energia elétrica? Por quê?"*

As respostas obtidas durante essa etapa foram transcritas em seus trechos mais significativos e sistematizadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Dados coletas dos levantamentos prévios da temática – Bloco 3: Funcionamento do efeito fotovoltaico.

CÓD.	Trecho de resposta	Esquema	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Invariantes operatórios
A1	"Não sei definir, mas acho que acontece um processo onde este eletrons estão no interior do material semicondutor fazendo com que prepare eles para conduzir" "O sol tem raios solares muito forte, fazendo com que transforme em energia, creio que o que limita é a força e a temperatura" "Uma lanterna não tem força ou temperatura para gerar energia, pois não tem como esquentar as placas solares.	Explicação intuitiva do processo	Elétrons; calor; temperatura	“Aquecimento gera energia”	Conversão energética associada ao aumento de temperatura do material
A2	"Nem toda luz é tão potente ao ponto de se transformar" "Ele até poderia ganhar energia mais não o suficiente, não igual a luz do sol"	Limite energético da luz	Potência da luz; transformação	“Nem toda luz tem energia suficiente”	Conversão depende da energia intrínseca da radiação incidente
A3	"Não sei" "Não geraria"	-	-	-	-
A4	"Ocorre o aquecimento e a liberação de energia"	Aquecimento como mecanismo	Aquecimento; liberação de energia	“Aquecimento gera energia”	Geração energética associada ao aquecimento do material
A5	"Por conta da radiação e do calor que chega no painel, gera mais elétrons." "Não, porque a luz da lanterna não emite calor e radiação."	Radiação-elétrons	Radiação; calor; elétrons	“Radiação libera elétrons”	Radiação eletromagnética promove liberação de elétrons no material
A6	"Gerar por meio do efeito fotovoltaico que ocorre por conta	Nomeação formal	Efeito fotovoltaico	Indefinido	Conversão ocorre por efeito

	do choque das células."				fotovoltaico nas células
A7	"Energia gerada através do calor, mas não sei o que acontece com os elétrons no material semicondutor." "Acho que o que limita o processo são as nuvens." "Acho que não, pois necessita de raios solares".	Calor-elétrons	Calor; elétrons; nuvens	“Nuvens limitam produção”	Produção depende da incidência solar e é afetada por nuvens
A9	"Os eletrons, ele consegue gerar a eletricidade em painel pelos calores do sol que pode gerar eletricidade." "Ele se torna eletrica porque o sol ele dá energia e a luz atinge como calor"	Esquema causal térmico	Elétrons, calor	O calor do sol faz os elétrons gerarem eletricidade	Aquecimento ativa produção elétrica
A10	"Não sei"	-	-	-	-
A11	"Não sei"	-	-	-	-
A12	"Acredito que nem toda luz seja muito forte para conseguir se transformar em energia elétrica, suponho que há uma diferença entre luz solar e a luz que vem das lâmpadas." "geraria sim, mas bem pouco, porque não seria tão forte a intensidade de luz."	Intensidade condiciona transformação	Intensidade da luz	Nem toda luz forte gera energia	Existência de limiar energético
A14	"Não sei explicar muito bem, mas sempre tive curiosidade" "Nunca ouvi falar sobre esse processo"	-	-	-	-
A16	"O painel contém fótons, "moléculas captadoras de cor", e luz que captam os raios de luz e calor	Radiação incidente → captação → condução	Fótons, UV	UV é mais potente	Energia varia com tipo de radiação

	ultravioleta e o conduzem as baterias ou o transformador" "Polaridade de luz, afeta, os raios ultravioelta. São os mais potentes, então são os que são mais captados pela placas." "A lanterna não é potente suficiente para isso"				
A19	"A luz bate e esquenta gerando energia?" "Por que talvez ele já esteja quente demais, assim, não reconhecendo a parte que já esta no seu limite." "Acho que não funciona com a lanterna, pois tem que esquentar a placa, ou porque a luz seja muito fraca."	Aquecimento progressivo necessário	Aquecimento	Precisa esquentar a placa	Aquecimento ativa geração
A24	"O sol passa o seu valor para a placa ocorrendo um aquecimento que leva a produção de energia por mecher com os componentes que contém dentro da placa" "O nível do calor passado para a placa, se não bater o nível necessário não produz a energia." "Sim, mas com muita demora, pois a luz poderia demorar para esquentar a placa o que causaria uma pequena quantidade de energia apenas."	Transferência de calor ativa componentes	Calor	Precisa aquecer para gerar	Modelo térmico dominante
A25	Em branco	-	-	-	-

A26	"Nunca ouvi falar sobre o funcionamento do efeito fotovoltaico.""Acho que lanterna não geraria, porque precisa de uma percentual de radiação para ser transformada em energia."	Percentual de radiação	Intensidade da radiação	Lanterna não gera por baixa radiação	Intensidade luminosa determina produção
A28	"Não tenho certeza como funciona mas acho que p calor dos raios solares acelera os elétrons do interior da placa, transformando em energia" "Nenhuma luz pe eficiente quanto a energia solar" "Não geraria, a luz da lanterna é extremamente fraca para gerar energia, nem se compara aos raios solares"	Esquema emergente luz-elétron	Luz e elétrons, intensidade	Luz solar é mais eficiente que lanterna	Intensidade e interação luz-elétron
A30	"Não sei" "Acho que funcionaria com a lanterna, pois o painel funciona com calor."	-	Não sei	Painel funciona com calor	Modelo térmico cotidiano

Fonte: Elaboração própria, 2026.

No Bloco 3, quando as situações propostas exigem uma explicação mais diretamente relacionada ao funcionamento físico do efeito fotovoltaico, observa-se uma maior diferenciação entre as respostas dos estudantes. Parte dos estudantes demonstra tentativa de avançar para explicações mais próximas do modelo científico, mencionando a interação da luz com os materiais e, em alguns casos, a liberação de elétrons, como evidenciado nas respostas de A5, A12, A16 e A28.

Outros estudantes apresentam aproximações parciais, reconhecendo a importância da luz ou da energia incidente, mas sem explicitar claramente os mecanismos envolvidos, como ocorre em A2, A6, A11, A19 e A24. Nesses casos, há indícios de transição na compreensão, embora ainda sem consolidação conceitual.

Por outro lado, um grupo significativo mantém explicações baseadas em modelos anteriores, especialmente associando o funcionamento dos painéis ao calor ou à intensidade térmica, como observado em A1, A4, A7, A9, A10, A14 e A30. Isso evidencia a dificuldade em reorganizar os esquemas explicativos quando a situação exige um nível de abstração maior, revelando a persistência de concepções cotidianas.

No desenvolvimento do Bloco 4 – Fatores de eficiência: óptica aplicada ao efeito fotovoltaico, os estudantes foram confrontados com cinco situações-problema que exigiam a mobilização de um esquema que demandava aplicação de princípios ópticos (incidência, reflexão, absorção, limites físicos):

1. *"O que aconteceria com a geração de energia se usássemos espelhos para concentrar mais luz sobre o painel? Há limites físicos para isso?"*

2. *"Se um painel solar for colocado perpendicular ao solo ao meio-dia, ele será mais eficiente do que se estiver inclinado? Por quê? Que leis da óptica explicam essa diferença?"*

3. *"Como a reflexão da luz na superfície do painel pode prejudicar a produção de energia? Como minimizar esse efeito usando princípios ópticos?"*

4. *"Sabendo que a luz branca é composta por várias cores (comprimentos de onda), todas as cores contribuem igualmente para a geração de energia?"*

5. *"Imagine que um painel solar esteja coberto por poeira ou tenha uma camada de vidro opaco. Como isso afeta a transmissão e absorção da luz?"*

As respostas obtidas durante essa etapa foram transcritas em seus trechos mais significativos e sistematizadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Dados coletas dos levantamentos prévios da temática – Bloco 4: Geração de energia solar no Brasil.

CÓD.	Trecho de resposta	Esquema	Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Invariantes operatórios
A1	"Há limites sim, pois creio que é feito para temperatura do sol." "As placas são instaladas de uma forma inclinada,	Limite térmico e geométrico	Temperatura; inclinação; absorção	"Painel tem limite térmico"; "Inclinação interfere"	Eficiência limitada por condições térmicas e posicionamento geométrico

	agora o porque da diferença eu não sei."As placas devem ser limpas pois pode prejudir na abosrção da luz"				
A2	"Não sei" "Se for inclinado seria mais fácil da luz chegar na placa"	Geometria da incidência	Inclinação; chegada da luz	“Inclinação facilita absorção”	Incidência geométrica influencia absorção
A3	"Não sei"	-	-	-	-
A4	Dependendo o tanto de calor liberado acredito que poderia vir a falhar, até porque sol com o contato no espelho dependendo o lugar. Esquentando muito pode pegar fogo" "A intensidade, pois para houver produção de energia o painel precisa de um certo aquecimento e se tiver um tipo de película a produção de energia não será tão eficiente."	Intensidade e limite térmico	Calor; intensidade; eficiência	“Excesso pode prejudicar”	Intensidade excessiva compromete eficiência
A5	"O excesso de luz poderia danificar a placa." "Não, porque a luz não pegaria interiamente na placa." "Reduzir a forma que a luz é refletida." "Não afetaria muito porque a luz e a energia ainda chegariam na placa."	Reflexão e eficiência	Reflexão; excesso de luz; dano	“Reflexão reduz eficiência”	Fenômenos ópticos (reflexão) interferem na eficiência
A6	Em branco				
A7	"Painel tem um limite e iria queimar com esse excesso de luz sobre ele." "Sim, pois a luz não teria o contato necessário	Limite de absorção	Limite do painel; contato	“Painel tem limite de absorção”	Painéis possuem limite de absorção energética

	para absorssão da luz."				
A9	"Sim, se conecta maid sobre o sol, assim pega mais energia" "O painel pegaria mais energia pois o sol está mais quente ao meio-dia" "Pois o calor do sol entre a energia eles possuem formar as cores"	Intensidade térmica significa aumento de produção	Temperatura	Meio-dia gera mais energia porque está mais quente	Intensidade térmica determina produção
A10	"Eu acho que o painel não irá absorver a luz do sol se estiver coberto de poeira."	Bloqueio físico significa menor geração	Absorção, luz, poeira	Poeira impede absorção, não gera energia	Transmissão óptica interfere na geração
A11	"Não sei" "Acho que não, pois a luz solar não chegaria bem aos sensores do painel."	Incidência luminosa direta necessária	Sensor, luz	Se luz não chega, não gera	Incidência direta é necessária
A12	"Seria mais eficiente e com mais intensidade. Acredito que há sim limites físicos, pois, dependendo se ficar olhando muito para os espelhos poderá prejudicar a visão." "Se estiver inclinado seria mais potente a intensidade." "Acho que cores mais escuros não contribuiram para isso." "Afetaria por causa da camada escura, pois ficaria mais difícil da luz ultrapassa a superfície."	Limite e cor importam	Limites físicos, inclinação	Inclinação altera intensidade	Geometria influencia eficiência
A14	"Não sei" "Acho que para poder funciona o painel tem que esta limpo."	Bloqueio físico reduz luz	Limpeza	Painel precisa estar limpo	Transmissão luminosa depende da superfície

A16	"Sim, pois o material tem um limite de resistência ao calor que isso causaria" "A luz pula em toda superfície, se ela estiver reta, a luz joagada fora e maior que se estivesse inclinada." "Não sei" "Absorve menos luz e gera mais energia."	Limite térmico + incidência geométrica	Resistência ao calor	Material tem limite térmico	Limite físico de operação
A19	"Eu acho que iria dar no mesmo" "Não sei" "Uma camada de poeira em cima da painel iria dificultar a entrada de luz"	Fator de perda associado a poeira	Poeira	Poeira dificulta luz	Transmissão interfere
A24	"Se usar um espelho para aumentar o impacto do sol, eu acho que pode ocorre um aquecimento maior que a placa foi feita para suportar, ocorrendo uma definição na placa solar." "Acho que se estiver perpendicular pode receber mais energia do que se estiver inclinado, pois seu campo de recepeção é maior." "Não sei o que é princípios ópticos." "Possivelmente todas não geram igualmente energia, talvez mas contribuam mais que outras por suas diferentes funcionalidades, eu acho..." "A poeira atrapalha a passagem da absorção de energia, levando no máximo uma pequena absorção o	Incidência geométrica altera captação	Espelho, ângulo	Mais incidência → mais energia	Geometria influencia absorção

	que gera uma pequena liberação de energia."				
A25	"Dependendo da quantidade de espelhos ajudaria, porém se tivesse muito atrapalharia a placa." "Afeta fazendo a luz não chegar até o local certo da placa."	Concentração luminosa pode ajudar ou prejudicar	Espelhos	Excesso pode atrapalhar	Limite físico de incidência
A26	"Acho que não daria certo, porque para o espelho refletir toda a radiação que precisa para ser feita a energia, seria depositada no espelho, não diretamente na placa.""O sol muda de posição e se tiver posicionado certinho o sol pode ficar mais tempo gerando energia."	Esquema geométrico de posicionamento	Incidência solar, posicionamento	Melhor posicionamento gera mais energia	Geometria influencia captação
A28	"As gerações de energia solar teriam espelhos para concentrar a energia" "Acho que sim, se estiver na forma perpendicular, tanto pelo ângulo tanto pela potência, é tipo você olhar diretamente do sol." "Acho que a reflexão no painel fosse um pouco do jeito certo do painel receber a luz" "A poeira afeta diretamente o funcionamento do equipamento."	interferência superficial	Incidência, ângulo, poeira	Incidência perpendicular aumenta geração	Geometria e interferência superficial
A30	"Não sei"	-	-	-	Ausência de invariante estruturado

Fonte: Elaboração própria, 2026.

No Bloco 4, as respostas dos estudantes evidenciam a mobilização de conhecimentos relacionados à eficiência dos sistemas fotovoltaicos, especialmente no que se refere à incidência da luz, à orientação dos painéis e a fatores que podem interferir na absorção da radiação, como sujeira, sombras e reflexão, conforme observado em A1, A5, A7, A12, A16 e A28.

Nas respostas apresentadas observa-se algumas articulações de múltiplas variáveis, reconhecendo limites físicos do sistema e a importância da otimização da captação de energia, como evidenciado nas respostas de A5, A12 e A16. Outros, embora reconheçam a influência de fatores externos, apresentam explicações mais descritivas e menos integradas, como em A2, A6, A11, A19 e A24.

Ainda se observam respostas baseadas em concepções simplificadas ou incompletas, especialmente quando há associação direta entre maior exposição ao sol e aumento linear da produção, sem considerar limitações do sistema, como nos casos de A10, A14 e A30.

De modo geral, o Bloco 4 revela uma maior diversidade de explicações, indicando diferentes graus de elaboração conceitual entre os estudantes, bem como a presença de avanços pontuais na articulação entre variáveis físicas e ambientais.

6.3.2. Aula 2 – Jogo didático para conhecimentos prévios – Kahoot

No segundo encontro, realizado no mesmo dia da Aula 1 após o intervalo, a intervenção pedagógica utilizou a plataforma de jogos educacionais Kahoot como uma situação mobilizadora (S) de conhecimentos. A utilização desse recurso fundamenta-se na TCC de Gérard Vergnaud, que, conforme apontam Nicolete et al. (2021), permite o planejamento de tarefas tecnológicas que envolvem ativamente os estudantes nos processos de representação e ação. O quiz, composto por 12 perguntas (disponíveis no Quadro 9, na qual consta também, entre parênteses, o quantitativo de respostas em cada opção), visou fazer emergir os invariantes operatórios que os estudantes mobilizam frente a problemas tecnológicos reais.

Quadro 9 – Jogo didático – Perguntas e respostas utilizadas.

Nº	Pergunta	Resposta Correta (Qtd de respostas)	Outras alternativas utilizadas (Qtd de respostas)
1	Entre as fontes de energia, qual fonte é de energia não renovável?	Energia Nuclear (13)	Energia Solar (4); Energia Eólica (4); Energia Hidrelétrica (3)
2	Ao observar a Matriz energética Brasileira, qual o percentual de energia solar e eólica?	4,4% (15)	9,6% (2); 12,1% (0); 9,6% (0)
3	Qual fator pode reduzir a eficiência de um painel solar?	Sombra Parcial (8)	Alta incidência solar (7); Revestimento antirreflexo (5); Inclinação adequada (5)
4	Qual das alternativas é uma fonte de energia renovável?	Energia Solar (22)	Carvão mineral (2); Petróleo (1); Gás Natural (0)
5	O que ocorre com os elétrons no efeito fotovoltaico?	Excitados e geram corrente (10)	Eles se multiplicam (7); Evaporam com o calor (5); São absorvidos pela luz (4)
6	Qual parte do espectro contribui mais para o efeito fotovoltaico no silício?	Infravermelha (4)	Ultravioleta (14); Luz Visível (2); Ondas de rádio (5)
7	O índice de refração influencia a...	Reflexão e absorção da luz (16)	Velocidade da corrente (5); Temperatura do painel (3); Resistência elétrica (1)
8	Qual destas regiões brasileiras possui maior potencial para energia solar?	Nordeste (22)	Sudeste (3); Centro-Oeste (1); Sul (0)
9	Como a poeira sobre um painel solar afeta sua eficiência?	Diminui a entrada de luz (18)	Reduz a reflexão (7); Não tem efeito (1); Aumenta a absorção (0)
10	Qual é o papel do vidro na superfície do painel solar?	Proteger e permitir luz (16)	Aumentar a temperatura (3); Refletir toda a luz (3); Aumentar temp. duplicada (1)
11	Qual destas opções melhora o aproveitamento da luz pelo painel?	Revestimento antirreflexo (19)	Espelho curvo (5); Vidro fosco (1); Tinta preta (0)
12	O que ocorre com a energia da luz absorvida pelo painel?	Libera elétrons/corrente (19)	Transformada em calor (3); Refletida de volta (1); Evapora no ar (0)

Fonte: Elaboração própria, 2026.

A atividade ocorreu na sala de multimídia, onde o uso dos *smartphones* permitiu uma dinâmica de aprendizagem colaborativa. Um exemplo significativo foi a participação conjunta de um estudante sem aparelho celular com um colega, reforçando a premissa de que o conhecimento é construído de forma coletiva e dialógica. Durante os 25 minutos de jogo ativo, a empolgação observada demonstra o potencial lúdico do jogo em desestabilizar esquemas prévios. Na figura 9 representa registro desse encontro.

Figura 9 – Registros dos estudantes durante o jogo didático no Kahoot.

Fonte: Elaboração própria, 2026.

Nesse contexto, a mediação da professora buscou atuar diretamente na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) da turma. Segundo Moreira (2002) e Garibotti (2019), a conexão entre a ZDP vygotskyana e a TCC reside no fato de que cabe ao professor prover situações e oportunidades para que os estudantes desenvolvam e expandam seus esquemas dentro dessa zona de maturação. Ao propor desafios no Kahoot, a professora buscou identificar o nível de desenvolvimento real dos estudantes para, através da mediação, conduzi-los ao desenvolvimento de novos invariantes científicos.

Embora o uso de apelidos pelos estudantes tenha impedido uma análise longitudinal individualizada, os dados coletados permitiram mapear o contexto geral da turma. O desempenho global de 55% de acertos indica que a classe se encontra em um processo de transição conceitual. A análise dos resultados revela pontos de consolidação e obstáculos específicos:

- Ponto de Maior Consolidação (Pergunta 12): Com 80% de acertos, os estudantes demonstraram compreender o teorema-em-ação de que a energia solar resulta na liberação de elétrons para gerar corrente, evidenciando uma base para o conceito de conversão de energia.

- Obstáculos na Classificação de Fontes (Pergunta 1): O índice de 43% de acertos revela um "ruído conceitual". Muitos estudantes operam sob o teorema-em-ação falso de que "se a fonte é tecnológica, ela é renovável", confundindo os conceitos-em-ação de "energia limpa" com "energia renovável" ao classificarem a energia nuclear incorretamente.

- Dificuldades Técnicas e de Causalidade (Perguntas 3 e 5): Apenas 27% acertaram a questão sobre fatores de eficiência (sombra), sugerindo que a relação de causalidade entre a irradiância e a célula ainda não integra seus esquemas operatórios. Na Pergunta 5 (30% de acerto), o erro de pensar que elétrons "evaporam com o calor" revela a interferência de campos conceituais da Termodinâmica em um fenômeno da Física Moderna.

- Espectro Eletromagnético (Pergunta 6): O baixo índice de acerto (14%) reforça a dificuldade em diferenciar radiação térmica de radiação excitadora, elemento central para a compreensão do efeito fotovoltaico.

Esses resultados corroboram a tese de Vergnaud (1990) de que a conceitualização do real é o núcleo do desenvolvimento cognitivo e um processo lento que requer uma diversidade de situações. Como afirma Vergnaud (1982), a apropriação de todas as propriedades de um conceito é um processo de muito fôlego, que se estende ao longo de anos, exigindo que o ensino ofereça constantes analogias e enfrentamentos para superar mal-entendidos entre situações e representações.

6.3.3. Aula 3 e 4 - Conceitualização

As Aulas 3 e 4, realizadas 15 dias após o levantamento inicial, marcaram o início da etapa de conceitualização, fundamentando-se na importância da análise das concepções prévias para a preparação dessa fase, conforme orienta a Teoria dos Campos Conceituais (TCC). A identificação dos esquemas iniciais e dos conhecimentos-em-ação dos estudantes é um aspecto fundamental, pois orienta as etapas de negociação de significados e permite ao professor identificar sobre quais bases o estudante pode se apoiar e quais rupturas são necessárias. Como aponta Vergnaud (2017), os conhecimentos prévios são naturais e, em certos momentos, sustentam a aprendizagem, enquanto em outros tornam-se obstáculos que precisam ser conscientemente abandonados. Segundo Moreira (2002), o diagnóstico do que o estudante já sabe permite selecionar subsunçores relevantes e planejar situações que auxiliem o estudante a organizar sua própria estrutura cognitiva por meio da aquisição de significados claros.

Com base na análise desses precursores — que revelaram ruídos conceituais sobre fontes renováveis, fatores de eficiência e o conflito térmico entre calor e energia solar — foi elaborado um material visual por meio de slides na ferramenta Canva. Este recurso funciona como o conjunto das representações simbólicas (conjunto R), um dos três pilares que, junto às situações (S) e aos invariantes (I), constituem a definição de conceito para a TCC (Vergnaud, 1990; Moreira, 2002). O material integrou o referencial físico da dissertação com dados atualizados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2025), visando expandir o campo conceitual para além da física básica e atingir uma visão sistêmica do setor energético. O uso de slides didáticos e chamativos buscou facilitar a visualização de conceitos complexos e abstratos, como a estrutura eletrônica e a interação entre radiação e matéria, combatendo a passividade do ensino tradicional, uma estratégia que Nicolete et al. (2021) destacam como essencial para envolver ativamente os estudantes nos processos de representação e ação.

A aplicação ocorreu de forma expositiva-dialogada e colaborativa, com foco no papel mediador do professor que, de acordo com Garibotti (2019), deve intervir para auxiliar o desenvolvimento do repertório de esquemas dos estudantes por meio da proposição de situações frutíferas. Ao invés de focar apenas em definições, a mediação docente buscou desestabilizar invariantes operatórios inadequados e incentivar a verbalização de hipóteses sobre o funcionamento do sistema fotovoltaico. Esse processo permitiu que os estudantes começassem a utilizar uma linguagem técnica mais refinada, evoluindo da forma operatória do conhecimento (saber agir em situação) para a forma predicativa, que consiste em saber explicar e enunciar as propriedades dos objetos de estudo (Vergnaud, 2016). Como destaca Campelo (2019), essa transição demonstra o desenvolvimento da linguagem científica do estudante ao enfrentar problemas que encaminham para o conhecimento formal.

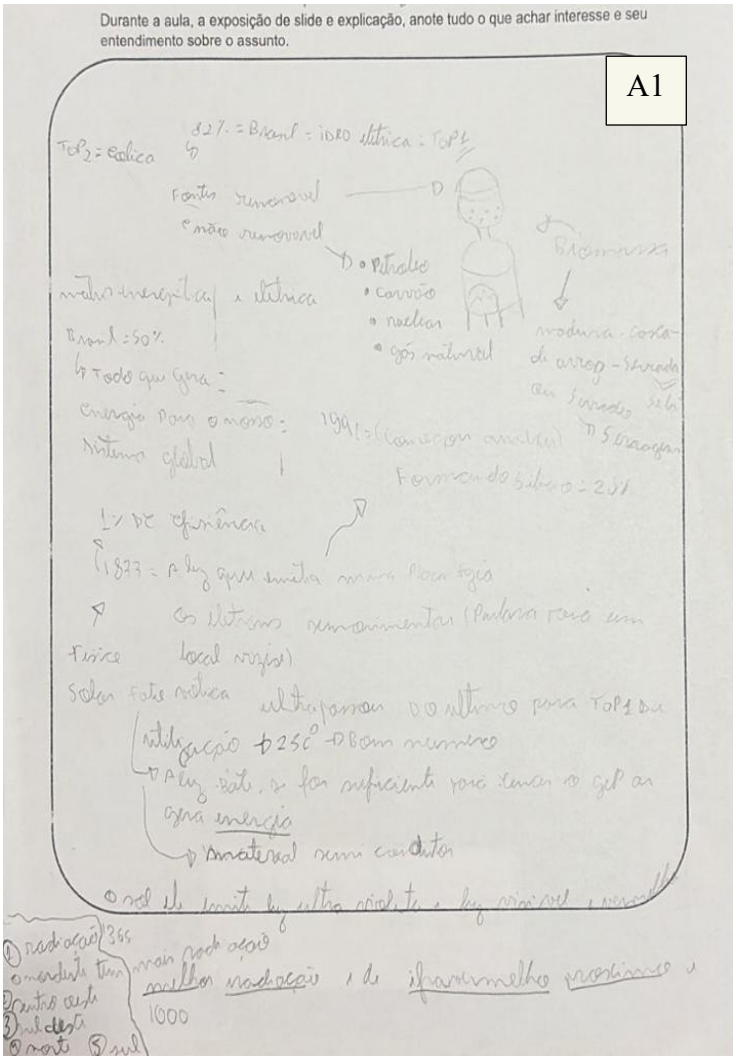
A necessidade de utilizar uma aula adicional de 50 minutos para o desenvolvimento de toda a atividade proposta reflete a complexidade do fenômeno cognitivo, no qual a conceitualização é o núcleo do desenvolvimento. Para a TCC, o domínio de um campo conceitual é um processo de muito fôlego que se estende por anos, exigindo que o ensino ofereça constantes analogias para superar mal-entendidos (Vergnaud, 1990; Ribeiro, 2020). Segundo Faria (2024), é improdutivo contornar as limitações conceituais; elas precisam ser enfrentadas através de uma diversidade de situações para que possam ser superadas.

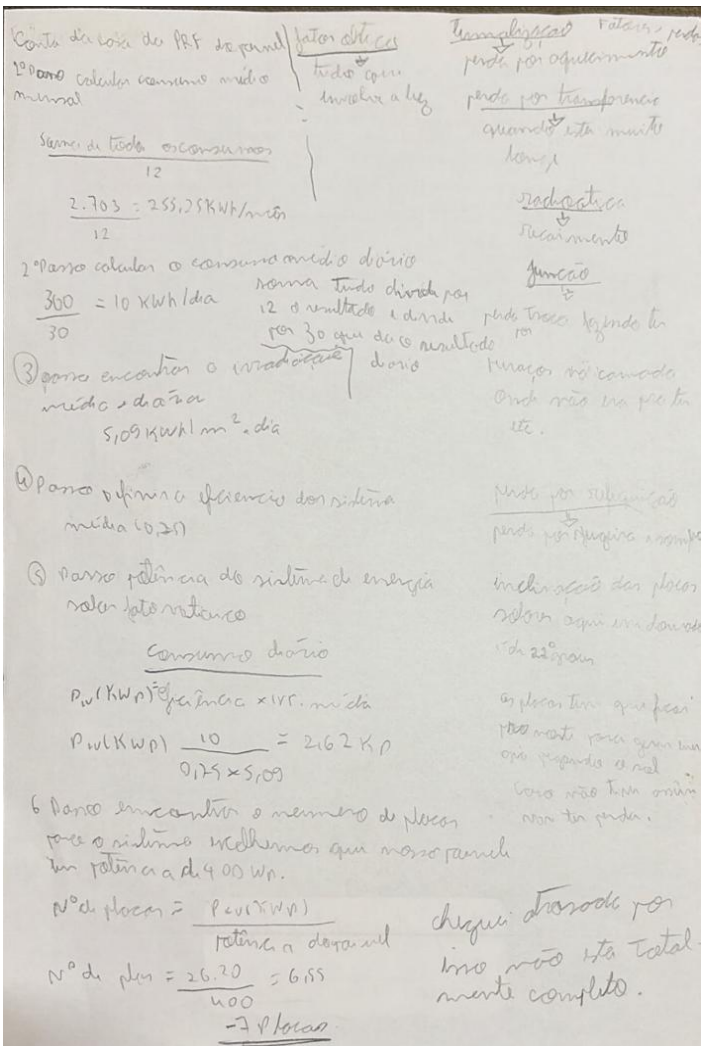
Durante a etapa de conceitualização (Aulas 3 e 4), os estudantes receberam uma folha de anotações para registrar os pontos que considerassem mais pertinentes durante a exposição do

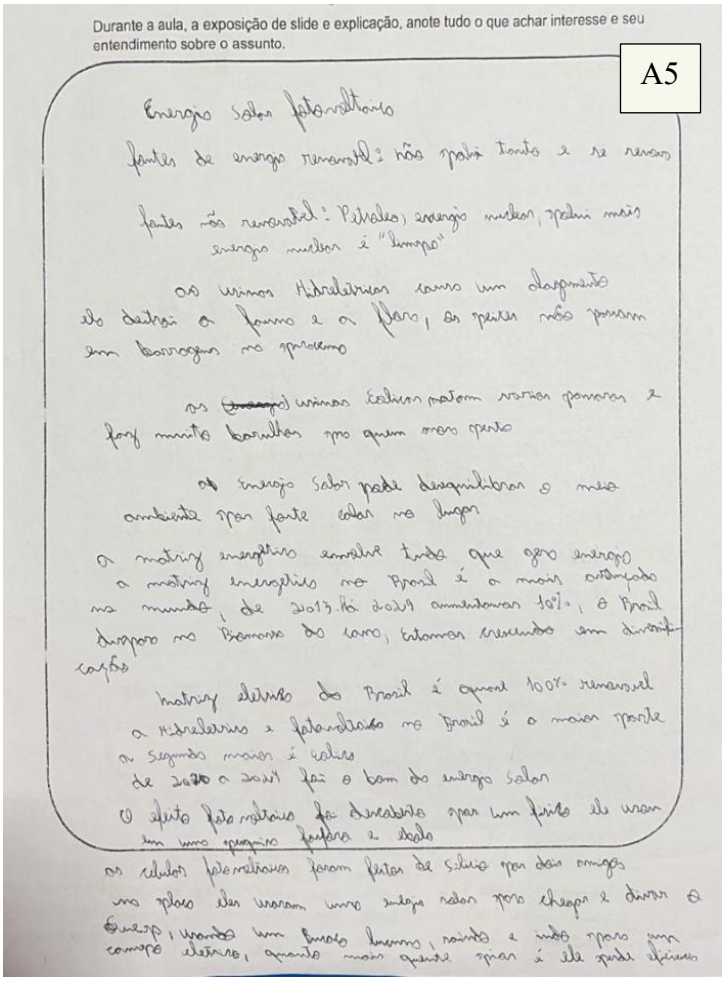
material didático. Essa estratégia buscou externalizar o conjunto de representações simbólicas (R), que, conforme Vergnaud (1990) e Moreira (2002), é fundamental para que o sujeito torne a sua conceitualização comunicável e explícita. Os registros capturados nessas folhas serviram para apresentar os elementos que os estudantes julgaram relevantes para compor seu campo conceitual sobre a energia fotovoltaica, funcionando como a "parte visível do iceberg" da conceitualização, conforme descrevem Sousa e Fávero (2002).

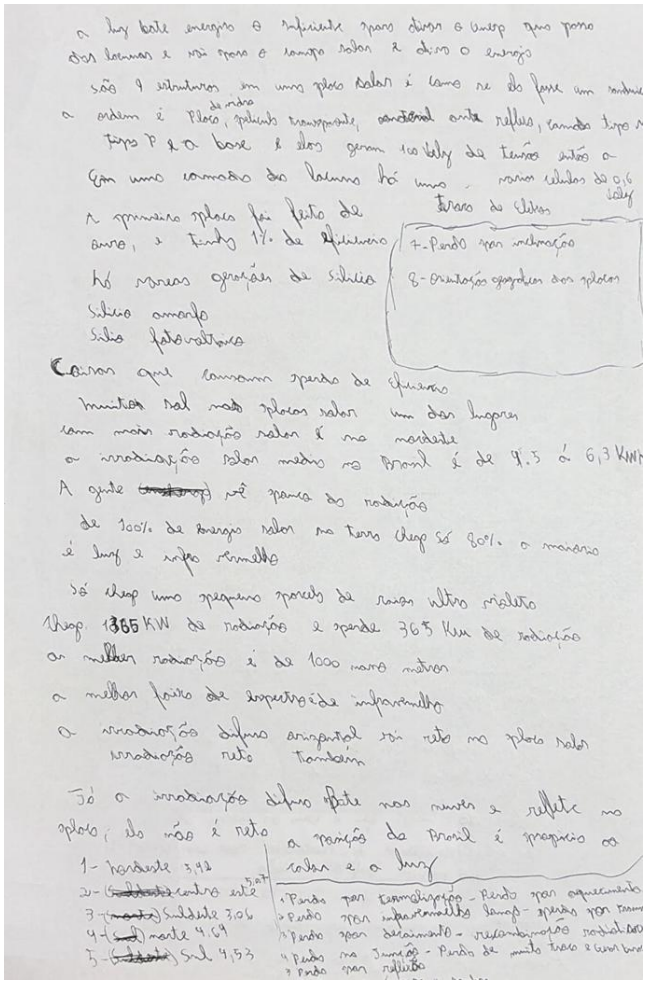
Na Figura 10, observou-se que o estudante A1 mobilizou dados sobre a matriz elétrica brasileira, destacando que 82% dela é composta por fontes renováveis, além de diferenciar as fontes de energia em seu esquema de anotações. De forma semelhante, A2 registrou classificações detalhadas entre energias não renováveis (petróleo, carvão, gás e nuclear) e renováveis (solar, eólica, biomassa e maremotriz), citando ainda a origem histórica da célula com Alexandre Edmond Becquerel. Já o estudante A5 produziu um texto reflexivo mobilizando invariantes sobre os impactos ambientais das hidrelétricas e usinas eólicas, registrando que a energia nuclear, embora considerada "limpa", não é renovável.

Figura 10 – Registros dos estudantes A1, A5 realizadas na conceitualização.





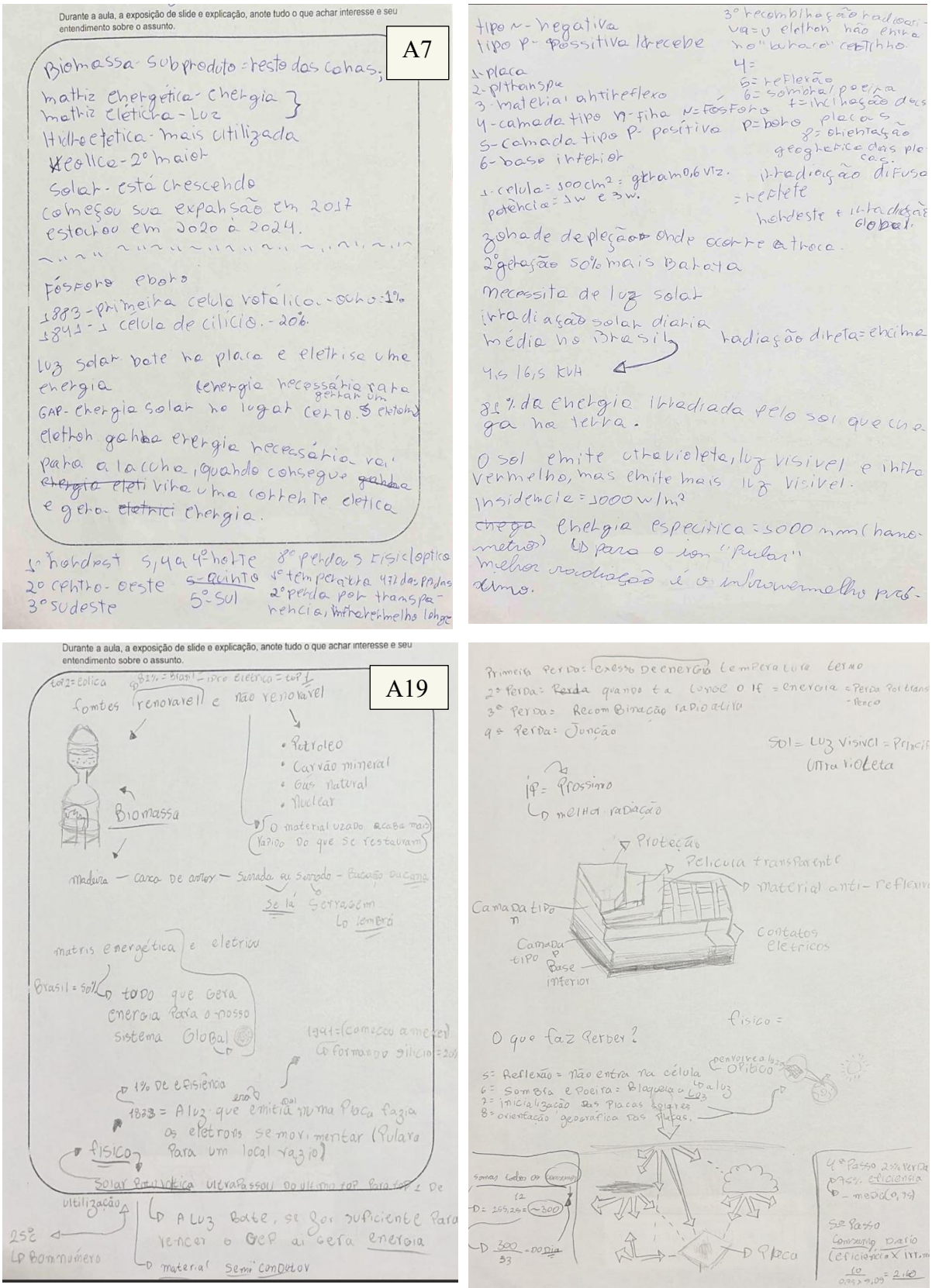




Fonte: Elaboração própria, 2026.

Quanto ao funcionamento técnico, o estudante A7 mobilizou conceitos sobre a dopagem de materiais, anotando a presença de fósforo e boro na composição das células e descrevendo como a luz solar, ao atingir a placa, fornece a energia necessária para vencer o "gap" e gerar corrente elétrica, conforme exibido na Figura 11. O estudante A16 focou na estrutura física do módulo, registrando componentes como a proteção de vidro, película antirreflexo e as camadas P-N (positivo-negativo), além de citar o "boom" da energia solar no Brasil em 2017. Por sua vez, A19 (Figura 11) utilizou uma abordagem mista com desenhos explicativos sobre biomassa e anotações históricas sobre a movimentação de elétrons para um "local vazio".

Figura 11 – Registros dos estudantes A7, A19 realizadas na conceitualização.



Fonte: Elaboração própria, 2026.

Outros registros, como os de A24 e A28, demonstraram a mobilização de variáveis de eficiência, como a perda por temperatura e a importância do silício como material base para que o sistema de elétrons seja mais eficiente. O estudante A30 registrou a definição de fontes não renováveis baseada na escala de tempo de renovação e pontuou que o efeito fotovoltaico surge da interação da luz com uma placa metálica, gerando uma "melhora" nos elétrons presentes. Esses registros, de forma simples e direta, demonstram a diversidade de conceitos-em-ação que os sujeitos-em-ação consideraram pertinentes para dominar a situação da geração fotovoltaica a partir da aula teórica.

Após a sabatina expositiva voltada ao desenvolvimento de representações simbólicas (R) e à construção de novos invariantes operatórios, os estudantes receberam um questionário impresso para validar os conceitos aprofundados. Conforme a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), esta etapa é crucial para que o professor-pesquisador identifique como o conhecimento, antes implícito na ação, começa a ser explicitado na forma predicativa. Observou-se uma variação significativa no engajamento: enquanto estudantes como A2, A16 e A28 realizaram anotações densas com esquemas e pontos centrais, outros se limitaram a tópicos simplificados, refletindo ritmos individuais na trajetória de aprendizagem.

O quadro 10 apresenta a sistematização dos dados obtidos nas questões fechadas (1 a 4), disponibilizados no apêndice A, que abordaram a matriz energética, classificação de fontes e fundamentos do efeito fotovoltaico:

Quadro 10 – Dados das questões fechadas da etapa de conceitualização.

Questão Avaliada	**Tema Central**	**Quantidade de Acertos**	**Quantidade de Erros**
Questão 1	Matriz Energética Brasileira e Classificação de Fontes	15 (78,9%)	4 (21,1%)
Questão 2	Fundamentos da Geração e Semicondutores	15 (78,9%)	4 (21,1%)
Questão 3	Fatores de Eficiência e Variáveis Ópticas	14 (73,7%)	5 (26,3%)
Questão 4	O Mecanismo Físico do Efeito Fotovoltaico	18 (94,7%)	1 (5,3%)

Fonte: Elaboração própria, 2026.

O índice de aproximadamente 95% de acertos na Questão 4 destaca-se como o ponto de maior consolidação, provando a eficácia da mediação docente em desestabilizar o obstáculo térmico — a crença de que o calor gera a energia — em favor de um modelo baseado na interação radiação-matéria. Essa mudança indica que a situação de ensino permitiu aos estudantes reorganizarem seus invariantes operatórios, aproximando-os do conhecimento científico.

Por outro lado, a persistência de erros nas Questões 1 e 3 (entre 21% e 26%) em estudantes como A12, A14 e A25 demonstra que a diferenciação entre conceitos-em-ação próximos, como "energia limpa" e "renovável", ainda está em processo de maturação.

Nas questões abertas (5 a 7), os estudantes foram instigados a explicar fenômenos como a interação radiação-matéria e os fatores ópticos que influenciam a eficiência. Na Questão 6, sobre os três fatores que reduzem a eficiência, o estudante A2 mobilizou os conceitos de sombreamento parcial, absorção pelo vidro e dispersão atmosférica. Já A16 destacou a inclinação das placas e a perda por termalização, demonstrando a incorporação de termos técnicos complexos ao seu discurso. Na Questão 7, referente ao espectro eletromagnético, a estudante (A2) explicou de forma clara que *"não é toda luz que vira energia, pois a luz solar é feita de vários tipos de radiação e só uma parte tem energia certa para acordar os elétrons"*.

Por fim, a Questão 8 propôs uma situação-problema real: o dimensionamento de um mini projeto residencial em Dourados-MS, com consumo de 600 kWh/mês, irradiância de 5,09 kWh/m²/dia e rendimento de 75%. Esta tarefa exigiu a articulação entre conceitos físicos e representações matemáticas. Os dados revelam que os estudantes seguiram passos lógicos de cálculo:

1. Consumo diário: $\frac{600\ \text{kWh}}{30\ \text{dias}} = 20\ \text{kWh/dia}$.
2. Potência do sistema (kWp): $\frac{20}{5{,}09 * 0{,}75} \approx 5{,}2\ \text{kWp}$.
3. Quantidade de painéis (550 Wp): $\frac{5200\ \text{W}}{550\ \text{W}} \approx 9{,}4\ \text{kWp}$, resultando na indicação final de 10 painéis.

Estudantes como A2, A4, A12, A18 e A32 chegaram ao resultado de 10 painéis com memórias de cálculo completas, demonstrando a estabilização de invariantes operatórios sobre o dimensionamento fotovoltaico. Outros, como A31 e A33, embora tenham iniciado o raciocínio corretamente, apresentaram dificuldades na manipulação algébrica final,

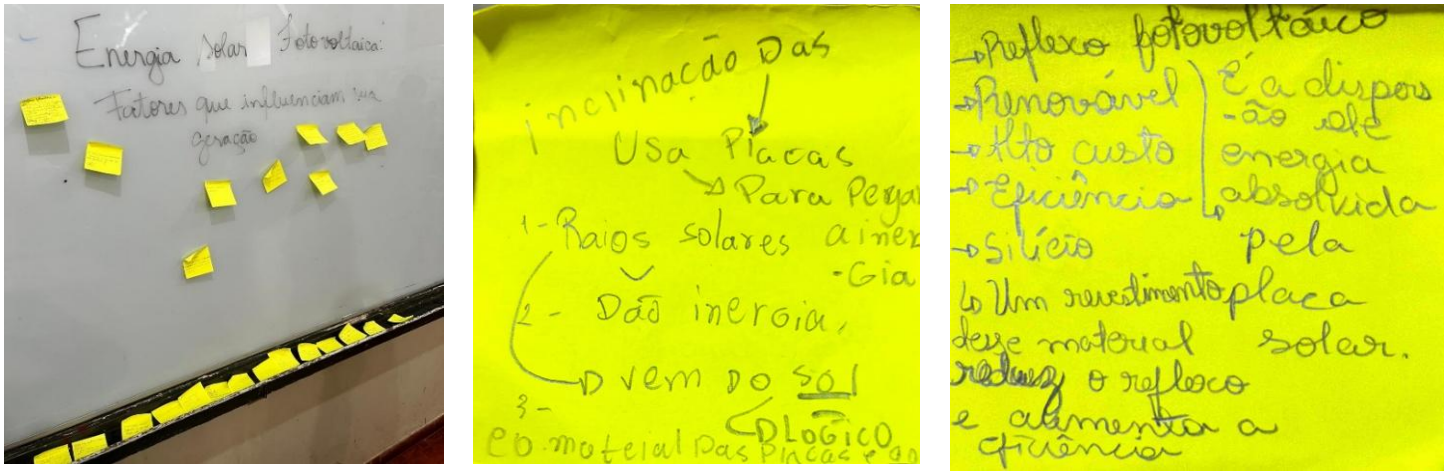
evidenciando que o domínio das operações matemáticas ainda atua como um limitador na expressão do conhecimento físico.

6.3.4. Aula 5 e 6 – Lembrança estimulada e Prática.

Após um intervalo de dois meses, que incluiu o período de recesso escolar, a pesquisa e aplicação da sequência didática foram retomadas, evidenciando que o domínio de um campo conceitual é um processo de muito fôlego que ocorre ao longo de um extenso período de tempo por meio da experiência e da maturidade (Vergnaud, 2009; Moreira, 2002; Garibotti, 2019). No início deste encontro, a professora-pesquisadora realizou um questionamento oral para acessar os elementos cognitivos remanescentes, o que resultou em uma interação geral da turma. Como destaca Vergnaud (1998, 2013), o papel mediador do docente é fundamental para estimular os sujeitos a formarem novos esquemas e explicitarem seus conhecimentos-em-ação, acessando aquilo que está em processo de maturação mesmo após hiatos temporais.

Para que este momento de resgate não se restringisse apenas a registros orais, os estudantes foram instigados a externalizar suas lembranças em *post-its* (Figura 12), compondo o conjunto das representações simbólicas (R) que, junto às situações (S) e aos invariantes (I), constituem a tríade fundamental de um conceito (Vergnaud, 1990, 2016). Os termos citados, como “Raios Solares”, “Não tem haver com calor”, “Inclinação é importante”, “Limpeza dos painéis”, “Energia solar” e “Energia renovável”, funcionam como a forma predicativa do conhecimento, na qual os estudantes enunciam as propriedades e relações dos objetos de estudo que foram anteriormente assimiladas (Vergnaud, 2016; França, 2023). A expressão "Não tem haver com calor", em particular, revela a estabilização de um teorema-em-ação científico crucial, indicando que a ruptura com o obstáculo térmico identificada no início da sequência permaneceu integrada aos esquemas dos estudantes (Cunha; Ferreira, 2020).

Figura 12 – Registros dos Post-it na retomada da aplicação após 2 meses.



Fonte: Elaboração própria, 2026.

A mobilização de conceitos como a importância da inclinação e da limpeza demonstra que os estudantes incorporaram variáveis de eficiência fotovoltaica aos seus invariantes operatórios, transformando o conhecimento antes implícito em uma base conceitual clara (Moreira, 2017; Campelo, 2019). Conforme aponta Vergnaud (2017), esses registros são a parte concreta explicitada da conceitualização, revelando que os processos cognitivos subjacentes continuaram a se desenvolver durante o intervalo. A Figura 13 apresenta uma nuvem de palavras elaborada pela pesquisadora, utilizada como recurso de análise qualitativa das produções dos estudantes. Esse tipo de representação, conforme Nicolete et al. (2021), permite visualizar padrões recorrentes na linguagem empregada, evidenciando a organização dos invariantes operatórios e os campos conceituais em processo de consolidação.

Na nuvem gerada, observa-se a maior frequência de termos diretamente associados ao efeito fotovoltaico, como “energia”, “radiação”, “elétron” e “corrente”, indicando um avanço em relação às concepções iniciais dos estudantes, anteriormente centradas em ideias mais generalistas, como “calor” e “sol”. Essa mudança sugere uma reorganização conceitual, na qual os estudantes passam a mobilizar elementos mais próximos do modelo científico.

Além disso, a presença simultânea de termos do senso comum e da linguagem científica revela que o processo de aprendizagem não ocorre de forma linear, mas por meio de filiações e rupturas entre diferentes níveis de compreensão. Tal dinâmica está em consonância com a Teoria dos Campos Conceituais, segundo a qual o conhecimento se constrói progressivamente, a partir da mobilização de esquemas em diferentes situações (Vergnaud, 2009; Faria, 2024).

Dessa forma, a análise da nuvem de palavras não apenas ilustra a frequência de termos utilizados, mas evidencia o movimento de transição conceitual dos estudantes, indicando a consolidação gradual de significados científicos e o desenvolvimento de maior autonomia na interpretação dos fenômenos físicos.

Figura 13 – Nuvem de palavras sobre os conceitos levantados na lembrança estimulada.

Fonte: Elaboração própria, 2026.

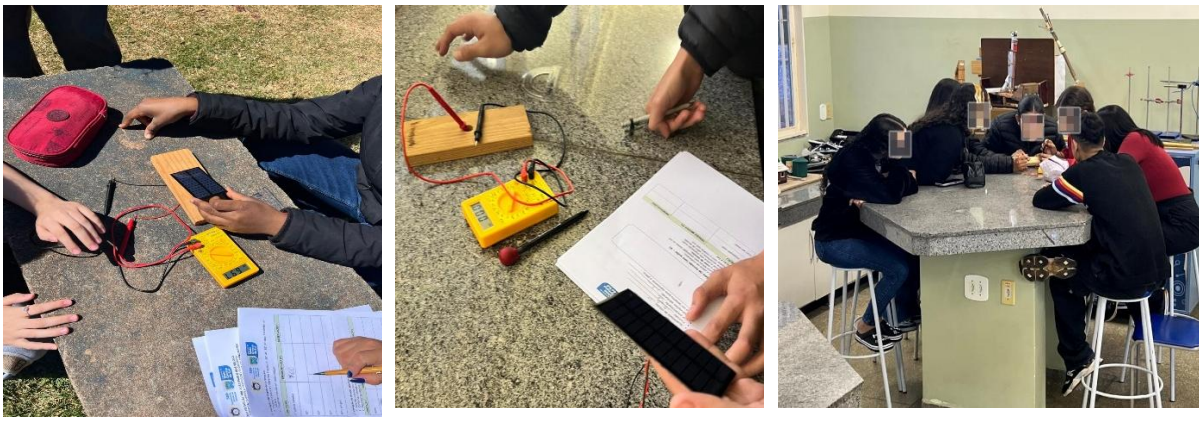
Após a etapa de retomada, os estudantes foram organizados em cinco grupos para a realização da atividade prática no laboratório de física, que foi previamente preparado com kits experimentais compostos por mini-painéis solares, multímetros e objetos para simular o sombreamento, disponível na Figura 14. Sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), esta etapa configura-se como uma situação (S) planejada para transformar o estudante em um sujeito-em-ação, permitindo que ele coloque à prova seus esquemas e mobilize seus invariantes operatórios frente a problemas reais. Como apontam Rocha e Catarino (2020), a experimentação facilita a explicitação de ideias e conceitos construídos, possibilitando a observação direta das variáveis físicas que, muitas vezes, permanecem abstratas no plano puramente teórico.

Figura 14 – Kit organizado para realização da prática.

Fonte: Elaboração própria, 2026.

Durante a atividade, a professora-pesquisadora entregou roteiros guiados (disponíveis no apêndice A), compostos por sete questões investigativas sobre os dados coletados. Este roteiro atua como o conjunto das representações simbólicas (R), essencial para que o estudante torne sua conceitualização comunicável e organize suas observações experimentais em uma estrutura lógica. Observou-se um alto engajamento e fascínio por parte da turma ao verificar a aplicação de conceitos como a interferência do sombreamento e a variação da inclinação, o que corrobora a tese de Moreira (2002) de que os conceitos ganham sentido através das situações que o sujeito consegue dominar progressivamente. A aula foi realizada no período matutino, garantindo condições de irradiância adequadas para a validação dos dados experimentais. A Figura 15 são registros do momento da prática descritos.

Figura 15 – Registros de momentos da prática.



Fonte: Elaboração própria, 2026.

A análise dos registros experimentais e dos roteiros preenchidos revela que os estudantes mobilizaram teoremas-em-ação voltados à validação empírica dos conceitos de óptica aplicados à energia fotovoltaica. No levantamento da descrição inicial, os grupos identificaram corretamente a estrutura física do módulo, registrando a presença de 24 células em série. Nas medições de tensão, os estudantes observaram que, sem a incidência direta de luz, a tensão registrada era mínima ou nula, construindo o teorema-em-ação de que a incidência solar direta garante a eficiência energética da placa.

Quanto aos fatores de eficiência, a variação do ângulo de inclinação permitiu aos estudantes perceberem a relação geométrica entre a posição da placa e a potência gerada. Grupos registraram que o ângulo de 30° (ou 60° dependendo do referencial de medição) foi o mais eficiente para as condições locais de Dourados-MS, obtendo valores de tensão em torno de 6,92 V a 7,10 V. Sobre o sombreamento, a resposta coletiva foi unânime ao registrar que a presença de obstáculos, mesmo parciais, causa uma queda imediata na tensão medida, mobilizando o conceito de perda por barreira óptica. Ao final, os estudantes relacionaram a importância do ângulo de azimute (orientação Norte para o hemisfério sul) como fator determinante para maximizar a captação de energia ao longo do dia.

No Quadro 11, apresenta-se a organização dos grupos e a síntese das atividades realizadas nos roteiros:

Quadro 11 – Organização dos Grupos e Síntese da Prática Experimental

Grupo	Código dos Estudantes	Dados Experimentais Relevantes	Síntese do Preenchimento do Roteiro
G1	A1, A10, A13, A19, A24, A28	Tensão com sol: 7,11 V; Com sombra total: 5,75 V.	Identificaram 24 células e justificaram a eficiência pela "exposição total ao sol".
G2	A3, A4, A12, A14, A18, A31, A32, A33	Tensão com sol: 7,16 V; Com sombra total: 6,50 V.	Destacaram que a 30° a placa atingiu maior potência (6,92 V).
G3	A8, A9, A16, A27, A29, A34	Tensão variando entre 6,97 V (sem sombra) e 5,72 V (sombra total).	Associaram a inclinação de 30° à "garantia de eficiência energética".
G4	A5, A6, A11, A21, A22, A25, A26, A30	Tensão com sol: 6,66 V; Azimute Norte: 7,12 V.	Registraram que a sombra "diminuiu a tensão da placa" de forma imediata.
G5	A2, A7, A15 A,20	Registro de variação angular de 0° a 90°.	Concluíram que a placa deitada (0°) ou pouco inclinada oscilou mais em tensão.

Fonte: Elaboração própria, 2026.

Essa sistematização demonstra que a prática experimental atuou como um elemento de conflito e reorganização de esquemas, levando os estudantes a utilizarem dados empíricos para sustentar suas justificativas e consolidar o campo conceitual da energia solar. A transição da forma operatória (ação no laboratório) para a forma predicativa (respostas escritas no roteiro) evidencia o progresso na compreensão das variáveis que influenciam a geração de energia.

6.3.5. Aula 7 – Palestra

No sétimo encontro, a situação proposta consistiu em uma palestra técnica ministrada por uma Engenheira de Energia, proprietária de uma empresa do setor fotovoltaico. Sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), essa atividade configura-se como uma situação sociotécnica real (S), planejada intencionalmente para expandir o campo de conhecimentos dos estudantes para além dos limites da sala de aula e conectá-los com a engenharia aplicada. Como afirma Vergnaud (1990), o sentido de um conceito não é formado por um único tipo de situação, mas por uma multiplicidade delas, que exigem do sujeito a mobilização de diferentes esquemas de ação.

A palestra abordou temas complexos, como instalações práticas, fatores de eficiência, legislações brasileiras e as modalidades de comercialização on-grid (conectado à rede) e off-grid (autônomo). Estes tópicos introduziram novos conceitos-em-ação, como "viabilidade de projeto" e "localização geográfica", que funcionam como categorias de pensamento pertinentes para dominar a situação da geração energética em larga escala. A utilização de uma linguagem mais técnica e o contato com módulos fotovoltaicos comerciais fortaleceram o conjunto das representações simbólicas (R) dos estudantes, permitindo que eles articulassem o conhecimento físico teórico com as demandas do mercado de trabalho e da sociedade. A palestra utilizou o recurso de slide expositivo, que será disponibilizado como recurso didático através do produto educacional.

Durante a atividade, os estudantes demonstraram um elevado engajamento, assumindo o papel de sujeitos-em-ação ao levantarem questionamentos fundamentados sobre instalação, durabilidade de materiais e tecnologia. Esse movimento de interrogação revela a transição para a forma predicativa do conhecimento, na qual o estudante não apenas possui o saber-fazer, mas é capaz de enunciar propriedades, relações e transformações dos objetos de estudo. Como destaca Moreira (2002), o ensino deve promover situações que levem o estudante a tomar consciência de seus conhecimentos e verbalizá-los, transformando invariantes implícitos em teoremas científicos explícitos.

Nesta etapa, a coleta de dados foi realizada de forma coletiva, por meio da observação atenta da pesquisadora quanto à organização invariante do comportamento da turma e à qualidade das interações. O relato da palestrante — que observou uma participação atípica e "saberes mais profundos" em comparação com outras turmas de estudantes — funciona como uma evidência externa da evolução conceitual do grupo. As perguntas "fundamentadas" mencionadas pela profissional indicam que os estudantes conseguiram relacionar convenientemente os conceitos de radiação, eficiência e semicondutores para analisar variáveis de sistemas complexos, superando a mera memorização de fórmulas.

Portanto, a palestra representou uma situação de síntese essencial na sequência didática, confirmando que o domínio de um campo conceitual é um processo gradual que exige tempo e a vivência de desafios que provoquem a reorganização dos esquemas prévios. Ao confrontarem seus modelos internos com a realidade profissional, os estudantes puderam validar seus invariantes operatórios e consolidar significados mais próximos dos aceitos pela comunidade científica.

6.3.6. Aula 8 – Relatório final

No último encontro da sequência didática (Aula 8), a professora-pesquisadora iniciou as atividades retomando, de forma sistemática, as situações e conceitos discutidos ao longo do 2º e 3º bimestres do ano letivo de 2025. Esse resgate é fundamental sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), pois, conforme defendem Vergnaud (2009) e Garibotti (2019), o domínio de um campo de conhecimento não ocorre de forma imediata, mas sim de maneira gradual e longitudinal, exigindo tempo para a experiência, a maturidade e a consolidação da aprendizagem. Após esse momento dialógico, cada estudante recebeu um relatório final, instrumento concebido para a externalização das representações simbólicas (R) e para a manifestação da forma predicativa do conhecimento (saber dizer e explicitar propriedades).

O relatório foi estruturado com 19 questionamentos, abrangendo perguntas abertas e fechadas, com o intuito de avaliar a recepção do material didático, o nível de interação e os processos cognitivos envolvidos. A análise das respostas colhidas permitiu identificar a "parte visível do iceberg" da conceitualização dos estudantes, que, segundo Vergnaud (1990) e Moreira (2002), é composta por conhecimentos formais sustentados por uma base robusta de conhecimentos implícitos. Essa estratégia de avaliação por meio de narrativas escritas encontra respaldo na literatura da área; na dissertação de Campelo (2019), o autor observou que a utilização de questionários e relatórios após o estudo do efeito fotovoltaico foi essencial para verificar o desenvolvimento da linguagem técnica e científica dos estudantes.

Resultados convergentes foram identificados na pesquisa de Ribeiro (2020), que destaca a eficácia das sequências de ensino investigativas em desafiar os estudantes a buscarem soluções e explicações cada vez mais elaboradas para fenômenos físicos. Do mesmo modo, França (2024) relata que a produção de registros reflexivos ao final de uma intervenção didática permite ao pesquisador identificar a ocorrência da ancoragem de novos conceitos e a subsequente reorganização cognitiva. Essas evidências corroboram que o ato de explicitar o conhecimento em linguagem natural, conforme proposto no relatório final, é o que permite ao professor-pesquisador mediar a transição de invariantes operatórios rudimentares para teoremas científicos mais complexos.

A organização das respostas foi segmentada por blocos temáticos, seguindo a estrutura apresentada no Quadro 2, visando demonstrar como o campo conceitual da energia solar fotovoltaica foi progressivamente dominado. Como observado por Lameu (2014) em estudo similar sobre o efeito fotoelétrico, a exposição dos estudantes a uma diversidade de situações

(teóricas, práticas e técnicas) resulta em uma evolução satisfatória, na qual os discentes passam a manifestar conceitos e teoremas que se aproximam significativamente dos modelos aceitos pela comunidade científica. Portanto, os dados colhidos neste encontro final servem como evidência da ampliação do repertório de esquemas da turma e da eficácia das situações propostas ao longo de todo o ano letivo.

As manifestações dos estudantes foram sistematizadas e serão apresentadas ao longo desta seção, organizadas pelos blocos temáticos das aulas, com o objetivo de evidenciar a evolução dos invariantes operatórios e a consolidação de novos esquemas de ação.

- Aula 1 e 2 – Levantamento dos conhecimentos prévios e jogo

As Questões 1 e 2 do relatório final instigaram os estudantes a refletirem sobre o ponto de partida de sua jornada e o impacto da primeira situação mobilizadora (S) proposta: o diagnóstico inicial e o jogo de quiz no *Kahoot*. Na TCC, o sentido de um conceito é moldado pela diversidade de situações que o sujeito domina ao longo do tempo, sendo o conhecimento prévio o precursor necessário para as rupturas e filiações subsequentes.

Questão 1: Reflexões sobre o levantamento de conhecimentos prévios

Nesta questão, os estudantes avaliaram suas percepções iniciais antes da intervenção pedagógica densa. As transcrições revelam que os sujeitos reconheceram a fragmentação de seus conhecimentos ou o papel do diagnóstico como ponto de apoio para novos saberes:

O estudante A24 expressou com clareza a mobilização de seus esquemas iniciais: *"Sobre este questionário eu consegui responder algumas por conhecimento próprio e pela explicação sobre o assunto na aula anterior, outras talvez eu não tenha respondido por falta de conhecimento do assunto"*.

A30 destacou a função diagnóstica da tarefa sob uma perspectiva de avaliação de competências: *"O questionário foi essencial para ver o nosso 'potencial'..."*.

O estudante A10 admitiu a incerta característica do enfrentamento de situações novas para as quais ainda não se possui esquemas totalmente desenvolvidos: *"Eu respondi algumas que eu sabia, e deixei em branco as que eu não sabia e chutei algumas"*.

Essa etapa de identificação de invariantes operatórios iniciais é essencial para que o professor planeje situações que provoquem o desequilíbrio necessário para a reorganização cognitiva. Conforme observa Garibotti (2019), o diagnóstico permite mapear as lacunas e orientar a mediação docente no desenvolvimento do repertório de esquemas da turma.

Questão 2: O papel do jogo Kahoot no desenvolvimento conceitual

A segunda questão abordou como a situação de jogo influenciou a percepção dos estudantes sobre o conteúdo. Sob a ótica de Vergnaud (1998), situações desafiadoras estimulam a exposição de conceitos e a construção de novos esquemas por meio da interação social e da simbolização. As transcrições evidenciam o engajamento e a eficácia da ferramenta tecnológica como recurso facilitador:

O estudante A9 destacou a satisfação e o desejo por mais situações dessa natureza: *"Aprendi muita coisa pelo jogo foi muito legal, deveria ter mais jogos"*.

A11 reforçou o caráter inovador da metodologia: *"Sim, consegui responder todas as questões e a aula foi bem interativa"*.

O estudante A24 relatou como a situação (S) gerou motivação e o desejo de participação ativa: *"Eu consegui responder quase todas... a aula foi bem divertida e interessante. Minha impressão é que todos teve vontade de participar por ter sido uma aula diferente e animada"*.

A10 demonstrou maior segurança na mobilização de seus conhecimentos durante a atividade lúdica: *"Eu consegui responder as questões do jogo sem chutar, a aula foi muito legal teve muita interação da sala"*.

Esses resultados mostram que o jogo atuou como uma ferramenta para envolver ativamente os estudantes, auxiliando na estabilização de conceitos-chave. Como destaca Vergnaud (2012), a natureza do conhecimento se transforma quando é comunicada e debatida, permitindo que a mediação docente conduza o estudante de teoremas-em-ação rudimentares em direção ao conhecimento científico formal.

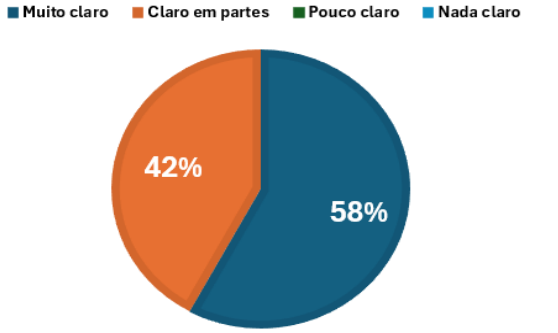
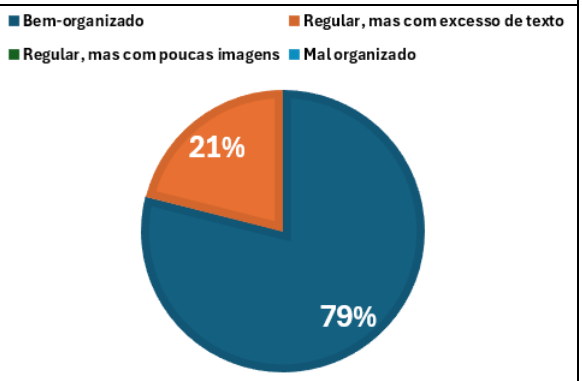
- Aula 3 e 4 – Conceitualização

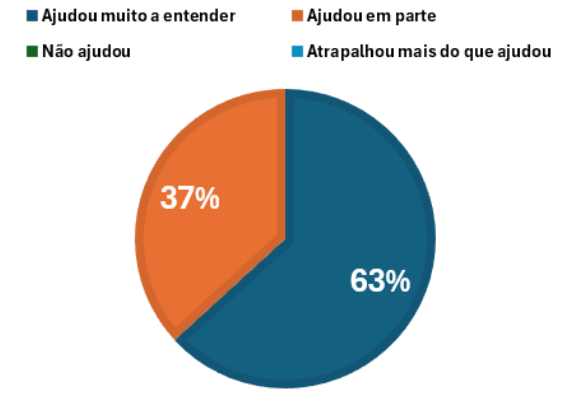
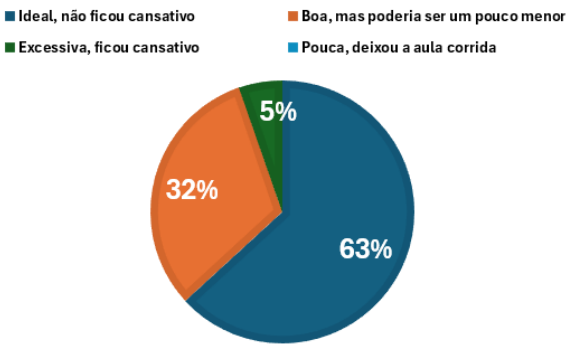
As situações propostas nas Aulas 3 e 4, focadas na etapa de conceitualização, visaram fornecer aos estudantes um sistema robusto de representações simbólicas (R) por meio de uma aula expositiva com slides e resolução de problemas. Sob a ótica da Teoria dos Campos

Conceituais (TCC), o sentido de um conceito é moldado pela relação entre o sujeito e a situação, na qual as representações simbólicas desempenham um papel crucial para tornar a conceitualização comunicável e explícita. Como destaca Moreira (2002), os conceitos tornam-se significativos através de situações que constituem a principal porta para o domínio de um campo conceitual.

Abaixo, no Quadro 12, sistematizam-se as percepções dos 19 estudantes selecionados sobre a qualidade e a utilidade da aula de slides utilizada para a introdução dos novos invariantes científicos:

Quadro 12 – Percepção quantitativa dos estudantes sobre a aula de conceitualização (Questão 3).

Categoria Avaliada	**Opções de Resposta**	**Quantidade de Estudantes**	**Gráfico**
Clareza das informações	Muito claro	11	
	Claro em partes	8	
	Pouco claro	0	
	Nada claro	0	
Organização visual	Bem-organizado	15	
	Regular, mas com excesso de texto	4	
	Regular, mas com poucas imagens	0	
	Mal organizado	0	
Utilidade para aprender	Ajudou muito a entender	12	
	Ajudou em parte	7	
	Não ajudou	0	

	Atrapalhou mais do que ajudou	0	
Quantidade de slides	Ideal, não ficou cansativo	12	
	Boa, mas poderia ser um pouco menor	6	
	Excessiva, ficou cansativo	1	
	Pouca, deixou a aula corrida	0	

Fonte: Elaboração própria, 2026.

As questões seguintes exigiram que os estudantes explicitassem a "parte visível de seu iceberg" de conhecimentos, transformando invariantes operatórios implícitos em linguagem natural e científica.

Questão 4: Sobre os conceitos estudados no slide, descreva alguns pontos que você lembra da aula. Pode ser em forma de texto, tópico, desenho de esquemas.

A Questão 4 do relatório final funcionou como uma situação de lembrança estimulada, exigindo que os estudantes realizassem o esforço cognitivo de transpor o conhecimento da forma operatória (o que foi assimilado durante a exposição) para a forma predicativa (a capacidade de enunciar objetos e suas propriedades). Sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), esse momento de externalização é o que permite ao professor-pesquisador acessar os invariantes operatórios que compõem a "ponta visível do iceberg" da estrutura cognitiva dos estudantes.

As manifestações registradas revelam a mobilização de diferentes categorias de conhecimento dentro do campo da energia solar:

Estudante A2: *"Lembro muito sobre os 'créditos' de energia que sobrou, podendo mandar os créditos para algum parente"*.

Estudante A5: *"Que a poeira atrapalha o funcionamento; os vidros que tem nas placas solares ajudam muito; a sombra atrapalha; é feito de silício"*.

Estudante A24: *"Formação do sistema de energia; composição das placas solares; orçamento; planejamento"*.

Essas respostas demonstram que os estudantes não apenas memorizaram informações isoladas, mas construíram conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que lhes permitem organizar a realidade do sistema fotovoltaico.

O estudante A2 foca em um aspecto utilitário e social, mobilizando esquemas relacionados à economia e distribuição energética. Já o estudante A5 apresenta uma articulação mais técnica e física, identificando variáveis de eficiência (poeira, sombra) e a natureza do material (silício), o que indica a formação de invariantes operatórios científicos sobre os fatores de perda óptica. Por sua vez, A24 demonstra uma visão mais sistêmica e procedimental, integrando o conhecimento físico ao planejamento e à viabilidade técnica do setor.

Conforme defende Vergnaud (2009, 2017), o desenvolvimento de um estudante ocorre ao longo de um extenso período, no qual o sentido de um conceito é moldado pela diversidade de situações que ele domina. A capacidade dos estudantes em descrever pontos específicos da aula, utilizando linguagem natural e técnica, corrobora a tese de Faria (2024) de que o ato de saber expressar e descrever o conhecimento é um estruturante da apreensão dos conceitos científicos, permitindo que o estudante deixe a passividade e se torne um sujeito-em-ação.

Resultados similares são encontrados na dissertação de Campelo (2019), que ao investigar o efeito fotovoltaico, observou que a mediação docente facilitada por recursos visuais (como slides e simulações) potencializa a construção de novos esquemas, permitindo que os estudantes superem explicações baseadas apenas no senso comum para adotar discursos mais próximos aos validados pela ciência. Como aponta Garibotti (2019), o mapeamento desses conhecimentos iniciais e remanescentes é fundamental para que o professor possa mediar a transição de conceitos implícitos para teoremas científicos explícitos e gerais.

Assim, a variedade das lembranças citadas — desde a utilidade dos créditos até a composição química do silício — confirma que o campo conceitual da energia solar é heterogêneo e complexo, exigindo que o ensino privilegie a articulação entre diferentes níveis

de organização do conhecimento (técnico, físico, social e econômico). Segundo Vergnaud (2009), o domínio de um campo é progressivo e as primeiras situações dominadas geram os significados que sustentam a aprendizagem futura.

Questão 5: O efeito fotovoltaico é parecido com o efeito fotoelétrico?

A Questão 5 do relatório final foi desenhada para verificar a capacidade dos estudantes em coordenar dois subcampos da Física Moderna. Sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), o domínio de um campo exige que o sujeito identifique as filiações (princípios comuns) e as rupturas (mecanismos distintos) entre fenômenos correlatos.

As manifestações dos estudantes revelam diferentes estágios de estabilização da forma predicativa do conhecimento:

A2: *"que é parecido"*.

A5: *"Sim, no sentido de que ambos envolvem a interação da luz com elétrons em um material"*.

A14: *"Sim, ambos possuem o uso de luz, mas possui suas divergências a respeito de alguns materiais e instalação"*.

A28: *"Embora use o mesmo princípio de conversão de luz em eletricidade, ele difere do efeito fotoelétrico porque, no efeito fotovoltaico, os elétrons excitados permanecem dentro do material"*.

A26: *"Não, é diferente. O fotoelétrico faz quase o oposto"*.

Essas respostas demonstram que o grupo começou a superar a visão puramente macroscópica para articular invariantes operatórios científicos. Enquanto o estudante A2 apresenta uma resposta fragmentada, indicando apenas uma percepção de semelhança sem explicitar as propriedades físicas, os estudantes A5 e A14 já conseguem identificar o referente comum (a luz) e o objeto de ação (os elétrons).

O destaque reside na resposta de A28, que manifesta uma consolidação conceitual mais profunda ao enunciar a diferença fundamental de contorno: a ejeção do elétron no efeito fotoelétrico versus a permanência e circulação interna no efeito fotovoltaico. Essa capacidade de "saber dizer" e distinguir propriedades específicas é o que Vergnaud (2017) e Moreira (2017)

descrevem como a transformação de conhecimentos implícitos em teoremas científicos explícitos, compondo a "parte visível do iceberg" da estrutura cognitiva.

Resultados semelhantes foram observados na dissertação de Campelo (2019), que ao investigar o efeito fotovoltaico sob a TCC, notou que a mediação adequada permite aos estudantes uma melhora significativa no uso da linguagem científica e na identificação de conceitos-chave do campo da conversão de energia. Da mesma forma, Lameu (2014), em seu estudo sobre o efeito fotoelétrico, destaca que a exposição a situações que provocam o conflito entre o conhecimento cotidiano e o científico leva o estudante a apresentar teoremas-em-ação muito próximos aos aceitos pela comunidade acadêmica ao final da sequência.

A resposta de A26, embora negue a semelhança focando apenas na oposição, também revela uma tentativa de estabelecer distinções qualitativas, um passo crucial para evitar a confusão conceitual entre fenômenos ópticos. Como aponta Ribeiro (2020) em sua análise sobre as Leis de Kepler, o envolvimento em situações-problema desafiadoras conduz o estudante à necessidade de explicar o real, transformando o "saber fazer" em "saber dizer" fundamentado. Assim, os dados indicam que, embora o domínio pleno seja um processo de "muito fôlego", houve uma evolução satisfatória da forma operatória para a forma predicativa na maioria dos sujeitos analisados.

Questão 6: A energia solar é muito utilizada no Brasil?

A Questão 6 do relatório final propôs uma situação (S) que exigiu dos estudantes a transposição dos conceitos físicos para uma dimensão sociotécnica e econômica. Sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), o sentido de um conceito não é formado apenas por sua definição teórica, mas pela multiplicidade de problemas aos quais ele responde, integrando variáveis de diferentes naturezas. Ao analisarem a presença da fonte fotovoltaica no território nacional, os estudantes mobilizaram esquemas de contextualização que revelam a ampliação de seu campo conceitual para além da sala de aula.

As manifestações registradas demonstram como os discentes articularam informações da matriz energética com a percepção da realidade econômica:

Estudante A5: *"Sim, ela é muito utilizada no Brasil, sendo a segunda maior fonte renovável da matriz elétrica do país"*.

Estudante A25: *"É bastante usado, mas está em crescimento ainda, pelos preços não são todos que podem ter"*.

Estudante A28: *"...a nossa matriz elétrica é 100% renovável, mas a fotovoltaica está ganhando seu lugar, expansão da energia solar nos últimos anos"*.

Estudante A30: *"Na última década foi o avanço da energia solar fotovoltaica"*.

A resposta do estudante A5 evidencia a estabilização de um teorema-em-ação científico robusto, ao alinhar-se com dados técnicos que apontam o crescimento exponencial da fonte solar na matriz elétrica brasileira nos últimos anos, mesmo que estes não sejam tão fidedignos, pois a energia solar ocupa o 3º lugar na matriz elétrica, devido ao tempo em que foram conceitualizados. Essa capacidade de "saber dizer" e organizar enunciados condizentes com a realidade é o que Vergnaud (2012) denomina como a forma predicativa do conhecimento, na qual o sujeito explicita as propriedades e relações do objeto de estudo.

Por outro lado, o estudante A25 mobilizou um esquema que integra a física à realidade socioeconômica, identificando o custo inicial como um invariante operatório que condiciona a democratização da tecnologia. Conforme defende Moreira (2002), o domínio de um campo conceitual é favorecido quando o ensino parte de situações que fazem sentido para o estudante e permitem que ele relacione o saber científico com sua vivência social. A percepção de que a energia "está em crescimento, mas depende de preços" revela um pensamento crítico que reconhece a multivariabilidade do sistema energético.

Resultados convergentes são encontrados na dissertação de Campelo (2019), que destaca como o estudo do efeito fotovoltaico favorece o desenvolvimento da linguagem técnica e a compreensão da sustentabilidade em nível nacional. Da mesma forma, Faria (2024) aponta que situações investigativas permitem ao estudante o protagonismo de seu conhecimento, tornando-o capaz de analisar fenômenos naturais e tecnológicos presentes no cotidiano sob uma visão crítica.

A articulação demonstrada pelos estudantes, especialmente ao mencionarem marcos temporais e barreiras de investimento, valida a situação didática como geradora de Habilidades Cognitivas de Ordem Superior, exigindo análise e avaliação crítica do real. Assim, os dados indicam que houve uma reorganização satisfatória dos esquemas, permitindo que a turma superasse visões fragmentadas para construir uma visão sistêmica sobre o papel da energia solar no Brasil.

Questão 7: Quais fatores ópticos interferem na eficiência de uma placa?

A Questão 7 do relatório final representa um ponto de síntese crucial no campo conceitual da energia solar. Esta situação (S) exige que o estudante coordene conhecimentos de óptica geométrica e física com a prática da engenharia fotovoltaica, mobilizando esquemas que integram múltiplas variáveis. Sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), a capacidade de listar e explicar esses fatores demonstra a transição do conhecimento da forma operatória para a forma predicativa, permitindo que o estudante tome consciência de seus invariantes operatórios.

As manifestações registradas no relatório evidenciam a estabilização de conceitos-em-ação científicos e o reconhecimento de perdas energéticas reais:

Estudante A5: *"Poeira, sombreamento e direcionamento de ângulo da placa"*.

Estudante A14: *"Presença de sujeira na placa, dependendo a forma de como se limpa a placa, se arranhar prejudica a eficiência da placa"*.

Estudante A12: *"Intensidade da luz, ângulo, sombras, poeira e clima"*.

Estudante A24: *"Poeira, muito sol, reflexão da luz, ranhuras"*.

Estudante A30: *"Intensidade da luz, sujeira da placa, sombreamento, inclinação"*.

Essas respostas revelam que os estudantes superaram o esquema inicial simplificado ("quanto mais sol, mais energia") para adotar um modelo de multivariabilidade. A identificação de variáveis como o ângulo de incidência e o sombreamento indica que os estudantes construíram teoremas-em-ação científicos fundamentados na lei da incidência e nas barreiras ópticas. Conforme define Vergnaud (2009, 2017), os conhecimentos explícitos revelados nessas respostas constituem manifestações observáveis de esquemas e invariantes operatórios, construídos e reorganizados ao longo das aulas práticas e conceituais da sequência.

O destaque na resposta do estudante A14 reside na inclusão da variável "ranhuras" ou "arranhões" no vidro. Este detalhe revela um enriquecimento do esquema operatório, integrando uma preocupação com o manuseio técnico e a integridade do material à teoria física. Como aponta França (2023) em seu estudo sobre calor e termodinâmica, a introdução de

elementos práticos e situações do cotidiano técnico permite ao estudante refinar seus invariantes, aproximando o saber escolar das competências exigidas na vida profissional.

Campelo (2019), nota que a mediação pedagógica focada em fatores de eficiência permite que o estudante utilize a linguagem científica para justificar limitações do sistema, como as perdas por reflexão e a importância do posicionamento geográfico. Da mesma forma, Garibotti (2019) ressalta que o domínio de um campo conceitual complexo é um processo longitudinal, no qual a variedade de situações apresentadas — desde slides teóricos até a experimentação com multímetros — é o que garante a consolidação de significados estáveis e transferíveis.

Portanto, os dados colhidos nesta questão comprovam que a maioria da turma reorganizou seus esquemas cognitivos, deixando de lado o obstáculo térmico para compreender a geração solar como um fenômeno sensível a condições ópticas e geométricas precisas.

Questão 8: Qual a diferença entre energia renovável e não renovável?

A Questão 8 do relatório final permitiu aos estudantes explicitarem seus invariantes operatórios sobre a disponibilidade dos recursos naturais e o impacto ambiental da matriz energética. Sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), essa tarefa exige que o sujeito organize um esquema socioambiental sistêmico, no qual o sentido dos conceitos de "renovabilidade" e "sustentabilidade" é construído a partir do domínio de situações que envolvem o esgotamento de recursos e a poluição. Como afirma Vergnaud (2013), o conhecimento físico se expressa não apenas por definições formais, mas por meio de sistemas linguísticos e semióticos que revelam a organização invariante do comportamento do estudante frente ao real.

As manifestações transcritas abaixo evidenciam diferentes formas de expressar a forma predicativa do conhecimento (o saber dizer):

Estudante A5: *"A energia renovável recebe energia natural que vem da natureza e não é limitada; não renovável não renova em quantidades limitadas".*

Estudante A16: *"Renovável — Terra renova, aguenta o desgaste — agente não se lasca. Não Renovável — Terra não aguenta, quebra o ecossistema, não renova, Todo mundo roda".*

Estudante A26: *"A energia renovável não é poluente enquanto a não renovável polui o ambiente".*

A resposta do estudante A5 baseia-se em um teorema-em-ação focado na escala temporal de disponibilidade dos fluxos naturais, um critério central na definição científica de renovabilidade. Ele identifica a natureza como provedora ilimitada em contraste com os recursos finitos, o que reflete um esquema funcional estável sobre a origem das fontes energéticas.

O destaque analítico reside no estudante A16, que utiliza uma linguagem marcadamente informal ("não se lasca", "todo mundo roda"). Embora seu sistema de representação simbólica (R) seja coloquial, seu teorema-em-ação demonstra uma compreensão profunda e sistêmica do campo conceitual. Ele articula a capacidade de regeneração da Terra com o suporte do ecossistema, reconhecendo que a exploração de fontes não renováveis acarreta um desequilíbrio global. Para Campelo (2019), o uso da linguagem natural para explicar fenômenos científicos é um passo crucial no processo de alfabetização científica, permitindo que o estudante deixe a passividade e se torne um sujeito-em-ação que tenta modelar e extrair propriedades do mundo físico.

A resposta do estudante A26 mobiliza o conceito-em-ação de poluição como o principal divisor entre as fontes. Esse tipo de manifestação indica que, para o estudante, o critério de "limpeza" ou "sustentabilidade" é o invariante organizador do seu esquema. Em pesquisas similares, como a de Faria (2024), destaca-se que situações que envolvem a história da ciência e os impactos socioambientais favorecem que os estudantes desenvolvam visões críticas sobre a tecnologia, integrando a física à realidade cotidiana.

Esses resultados mostram que a turma superou as classificações binárias simples do início da sequência para adotar justificativas baseadas em causalidade e impacto. Como aponta Garibotti (2019), o domínio de um campo conceitual é um processo de "muito fôlego" e longa duração, no qual a variedade de situações propostas — desde o diagnóstico inicial até o relatório final — é o que permite a estabilização de significados mais próximos dos aceitos pela ciência. Assim, a variedade das respostas revela que os estudantes estão em processo de consolidar uma estrutura sistêmica que relaciona energia, tempo e meio ambiente.

Questão 9: Sobre a aula, deixe suas impressões sobre a aula de modo geral.

A Questão 9 do relatório final configurou-se como um momento de finalização, permitindo que os estudantes refletissem sobre sua própria trajetória de aprendizagem e sobre a eficácia das situações didáticas propostas. De acordo com a TCC, o engajamento atitudinal é um fator

determinante para que o estudante se torne um sujeito-em-ação, motivado a construir e reorganizar seus esquemas cognitivos em busca de uma aprendizagem significativa.

As manifestações colhidas revelam a recepção da turma quanto à etapa de conceitualização e ao material didático utilizado:

> Estudante A2: *"que eu gostei muito"*.
>
> Estudante A28: *"Aula primordial para a aprendizagem"*.
>
> Estudante A30: *"Bem explicativo; Interativo"*.
>
> Estudante A16: *"Fome, sono, interesse, pensamentos aleatórios, captação de informação, cerca de 55%, depois sonhos acordados"*.

As respostas indicam que a maioria dos estudantes validou a abordagem como facilitadora e engajadora. Manifestações como as de A28 e A30 sugerem que a aula expositiva dialogada, apoiada em recursos visuais e slides bem estruturados, foi percebida como um suporte essencial para a compreensão dos novos invariantes operatórios. No trabalho de Campelo (2019), observou-se que o uso de metodologias que privilegiam a experimentação e temas atuais facilitam a compreensão das ideias expostas, melhorando a eficiência dos discentes e tornando a aprendizagem lúdica e agradável. Da mesma forma, Faria (2024) destaca que materiais potencialmente significativos despertam a curiosidade e instigam os estudantes na busca pelo conhecimento, promovendo uma mudança atitudinal.

O registro sincero do estudante A16, que menciona estados de cansaço e dispersão ("fome, sono"), traz dados valiosos sobre o engajamento atitudinal frente à realidade do cotidiano escolar. O fato de ele citar explicitamente o "interesse" e a "captação de informação" mesmo sob essas condições atesta que a situação didática conseguiu romper com a passividade tradicional. Como aponta a pesquisa de Irineu et al. (2022), fatores externos como o tempo excessivo sem atividades escolares ou fadiga influenciam o desempenho, mas o uso de ferramentas dinâmicas potencializa a curiosidade, ajudando a superar barreiras da sala de aula e transformando a transmissão de conteúdo em desenvolvimento de habilidades.

Essa postura participativa, identificada também nos trabalhos de Araujo (2019), comprova que situações que desafiam o estudante e contextualizam o saber científico com a prática tornam a Física uma disciplina mais atrativa e cativante. A interatividade mencionada pelos estudantes

corrobora a tese de que a diversidade de situações (S) e o uso de representações simbólicas (R) adequadas são pilares para a estabilização de um campo conceitual robusto e para a promoção de uma alfabetização científica autêntica.

- Aula 5 e 6 – Prática

Nesta etapa da sequência didática, as situações vivenciadas nas Aulas 5 e 6 — focadas na experimentação prática com mini placas solares e multímetros — constituem o cerne da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) ao transformarem os estudantes em sujeitos-em-ação. Sob essa ótica, a manipulação experimental não é apenas uma ilustração da teoria, mas uma situação-problema (S) que exige a mobilização de invariantes operatórios (I) para dar sentido ao real. Conforme destaca Moreira (2002), é no confronto com a tarefa prática que o conhecimento implícito começa a ser explicitado e refinado através das representações simbólicas (R).

As manifestações colhidas no relatório final para este bloco evidenciam como a prática contribuiu para a estabilização de novos esquemas e para a superação de obstáculos cognitivos.

Questão 10: Sobre a nossa aula prática, descreva suas impressões.

A Questão 10 do relatório final funciona como um instrumento de tomada de consciência e avaliação atitudinal. Na TCC, essa pergunta mobiliza a reflexão do estudante sobre sua própria trajetória como sujeito-em-ação, exigindo que ele avalie a utilidade da situação experimental (S) para a organização de seus novos esquemas cognitivos. Ao descrever suas impressões, o estudante inicia a transição da forma operatória do conhecimento (o saber agir sobre o kit fotovoltaico) para a forma predicativa (o saber dizer e valorar a experiência por meio da linguagem).

Abaixo, apresentam-se as manifestações de quatro estudantes registradas no relatório:

Estudante A11: *"Achei bem interessante"*.

Estudante A28: *"Legal mexer com as mini-placas"*.

Estudante A32: *"Divertida, muito legal ver como funciona a plaquinha"*.

Estudante A24: *"Conforme as posições da placa vai mudando a eficiência dela"*.

Essas respostas revelam que a aula prática atuou como um potente fator motivador e facilitador da aprendizagem. As expressões "interessante", "legal" e "divertida" utilizadas pelos

estudantes (A11, A28, A32) indicam que a situação experimental conseguiu romper com a passividade do modelo tradicional, gerando um engajamento que é requisito para a construção de significados.

Rocha e Catarino (2020) indicam que a abordagem experimental torna o conhecimento físico "mais marcante", pois permite que o estudante veja o fenômeno ocorrendo diante de seus olhos, facilitando a visualização das variáveis envolvidas. O relato de A28 sobre o ato de "mexer" nas placas demonstra a importância da manipulação direta para a formação de novos invariantes operatórios, transformando conceitos abstratos em realidade concreta.

A resposta do estudante A24 destaca-se por apresentar um caráter mais predicativo e conceitual. Ao descrever sua impressão, ele já explicita um teorema-em-ação científico sobre a multivariabilidade do sistema: a relação entre o posicionamento geométrico e a eficiência energética. Isso corrobora a tese de Vergnaud de que os conhecimentos são moldados pelas situações que o sujeito domina; o contato direto com o kit permitiu que este estudante extraísse propriedades do real de forma autônoma.

Além disso, a satisfação expressa pelos estudantes reflete o protagonismo discente diante dos desafios propostos. Ao serem desafiados a investigar problemas práticos (como a tensão gerada em diferentes ângulos), os estudantes deixam de ser receptores de fórmulas e passam a reconstruir seus esquemas, o que promove uma mudança atitudinal positiva em relação à Física. Como observado na pesquisa de Campelo (2019), situações que privilegiam a experimentação real são imprescindíveis para desestabilizar concepções errôneas e consolidar esquemas científicos estáveis sobre a conversão de energia.

Dessa forma, os dados da Questão 10 comprovam que a variedade de situações proporcionou o suporte necessário para que a turma evoluísse de um nível intuitivo para uma compreensão mais sistêmica e científica, utilizando a tomada de consciência como fator principal para a ativação de suas estruturas cognitivas.

Questão 11: O que mudou na geração de energia quando a placa estava suja?

A Questão 11 do relatório final configura-se como uma situação (S) de confronto entre esquemas prévios e evidências empíricas. Essa questão mobiliza a validação experimental, exigindo que o estudante utilize dados observados na prática para sustentar explicações causais sobre o fenômeno da transmissão óptica. O objetivo é levar o estudante a identificar obstáculos

físicos como fatores de perda, desestabilizando o teorema-em-ação intuitivo de que "toda luz gera eletricidade" ou que “o calor é a fonte da eletricidade” de forma constante.

Abaixo, apresentam-se as manifestações de cinco estudantes registradas no relatório, evidenciando a estabilização de invariantes operatórios científicos:

Estudante A11: *"Teve um baixo rendimento"*.

Estudante A12: *"Diminuiu, porque a sujeira reduziu a entrada de luz na placa"*.

Estudante A14: *"Diminuiu porque a sujeira reduziu a entrada da luz do sol na placa"*.

Estudante A30: *"Diminui a geração de energia, já que a sujeira bloqueia a incidência solar, atrapalhando a eficiência e funcionamento de modo geral"*.

- Estudante A5: *"Quando uma placa solar está suja ocorre uma diminuição quantidade de Luz e energia"*.

As respostas demonstram que a experiência prática funcionou como um catalisador para a reorganização de esquemas conceituais. Os dados coletados pelos estudantes durante o manuseio das mini-placas permitiram que eles abandonassem explicações genéricas para adotar um discurso fundamentado na transmissão e absorção da luz. Como aponta Campelo (2019), o contato direto com os materiais é imprescindível para que os discentes identifiquem limitações reais de desempenho e compreendam as perdas envolvidas no processo de conversão, tornando a aprendizagem mais lúdica e significativa.

A articulação demonstrada por estudantes como A12, A14 e A30, ao citarem explicitamente que a sujeira "reduziu a entrada" ou "bloqueou a incidência", revela a formação de um teorema-em-ação científico: barreiras ópticas reduzem a irradiância útil. Segundo Vergnaud (1998), o conhecimento se constrói na interação com situações diversas, e o domínio de um campo conceitual complexo, como o da energia solar, exige que o estudante saiba coordenar variáveis físicas e geométricas.

A percepção de que o rendimento diminui com a obstrução do painel corrobora os resultados de Rocha e Catarino (2020), que destacam que na experimentação os estudantes não veem apenas "o esboço no papel", mas "como a coisa acontece em si". Esse processo de tomada de consciência é o que permite transpor o conhecimento da forma operatória (o agir durante o

experimento) para a forma predicativa, onde o sujeito consegue enunciar as propriedades do objeto e justificar cientificamente a queda na eficiência do sistema. Assim, a prática experimental foi eficaz em promover a ruptura com o senso comum, consolidando esquemas que integram a óptica física à engenharia fotovoltaica.

Questão 12: O que você observou de mudança na geração quando a placa estava em diferentes ângulos?

A Questão 12 do relatório final funciona como um instrumento de tomada de consciência sobre a influência da geometria da radiação na eficiência energética. Na TCC mobiliza-se a transição de um esquema intuitivo e linear ("mais sol = mais energia") para um modelo de multivariabilidade, no qual o estudante deve coordenar a posição do objeto com a intensidade da resposta física (tensão/potência). A questão exige que o estudante realize o esforço de transpor o conhecimento da forma operatória (o agir durante o experimento) para a forma predicativa (o saber dizer e explicar as relações geométricas).

Abaixo, apresentam-se as manifestações de quatro estudantes registradas no relatório, evidenciando a estabilização de invariantes operatórios científicos:

Estudante A24: *"Mudava a potência conforme o lado que virava".*

Estudante A5: *"O ângulo de inclinação influenciava nos valores que apareciam no multímetro".*

Estudante A11: *"Conforme mudava a inclinação da placa a quantidade de luz solar que atinge diretamente a superfície da placa diminuía ou aumentava".*

Estudante A12: *"A incidência da luz aumenta ou diminui dependendo a direção e inclinação da placa".*

A análise dessas respostas demonstra que os estudantes consolidaram o invariante da multivariabilidade, compreendendo que a geração não depende apenas da presença de luz, mas da geometria da radiação. Conforme defendem Vergnaud (1990, 2017) e a literatura correlata, um conceito não se forma a partir de uma única situação; é a variação sistemática das tarefas — como inclinar a placa em diferentes ângulos e observar a flutuação dos valores no multímetro — que força a reorganização dos esquemas cognitivos para integrar o ângulo de incidência como variável determinante.

Rocha e Catarino (2020) destacam que a abordagem experimental torna o aprendizado da Física "muito mais marcante", pois permite ao estudante ver a "coisa acontece em si", facilitando a visualização das variáveis envolvidas e aumentando o interesse. O relato de A5 sobre a influência nos valores do multímetro exemplifica como o uso de instrumentos de medição (representações simbólicas) ajuda o sujeito a extrair propriedades do real de forma autônoma.

Além disso, a resposta de A11, ao mencionar que a luz "atinge diretamente a superfície", revela um teorema-em-ação científico próximo à Lei do Cosseno da fotometria, indicando que o estudante construiu um significado físico para o cálculo da irradiância. Como aponta Campelo (2019) em sua pesquisa sobre o efeito fotovoltaico, o contato direto com o kit experimental permite identificar limitações de desempenho e perdas ópticas, promovendo o desenvolvimento de uma linguagem técnica e científica refinada.

Assim, os dados da Questão 12 comprovam que a aula prática permitiu aos discentes ultrapassarem obstáculos epistemológicos, evoluindo para um nível de integração parcial mais complexo, onde o domínio da situação experimental serviu de precursor para a formalização teórica do campo fotovoltaico.

Questão 13: Teve dificuldade em usar o multímetro? Se sim, conte o que aprendeu.

A Questão 13 do relatório final funciona como um instrumento de tomada de consciência sobre o aprendizado procedimental e a manipulação de instrumentos científicos. A ideia aqui é identificar a transição da forma operatória (o saber agir sobre o objeto) para a forma predicativa (o saber descrever a ação e os conceitos nela embutidos), exigindo que o estudante coordene subconceitos de eletricidade com as representações simbólicas (R) presentes no visor do aparelho.

Abaixo, apresentam-se as manifestações de quatro estudantes, seguidas de uma discussão fundamentada na literatura e na TCC:

- Estudante A14: *"No começo sim, mas depois aprendi a ver os números de tensão"*.
- Estudante A32: *"Sim, aprendi a medir e a conectar os fios nas placas"*.
- Estudante A5: *"Aprendi a regular a escala do multímetro para aparecer os números da placa"*.

- Estudante A30: *"Foi um pouco difícil no começo para ligar os cabos, mas depois entendi o valor que dava"*.

A análise das respostas revela que o uso do multímetro configurou uma situação-problema (S) que exigiu a construção de novos esquemas de ação. Aprender a manusear o instrumento é parte fundamental da construção das representações simbólicas do campo da eletricidade, pois o sentido do conceito não está apenas nas palavras, mas nas relações que o estudante estabelece durante a prática. Conforme aponta Faria (2024), o uso de ferramentas que permitem "ver com os próprios olhos" a reação física ajuda a romper com a insegurança inicial, permitindo que o estudante expresse suas ideias de forma mais autônoma e científica.

As dificuldades relatadas por A14 e A30 no início do processo são perfeitamente compreensíveis dentro do referencial de Vergnaud, que defende que o domínio de um campo conceitual não ocorre de imediato, mas vai se formando com acertos e erros ao longo de uma trajetória de aprendizagem. Campelo (2019), observou que o contato direto com multímetros em sequências investigativas é imprescindível para que os estudantes identifiquem variáveis reais e desenvolvam uma linguagem técnica mais refinada, superando o medo de lidar com equipamentos desconhecidos.

A resposta do estudante A32, focada na conexão física dos fios, demonstra o desenvolvimento de habilidades motoras e operacionais que sustentam o conhecimento científico. Segundo Araujo (2019), o desenvolvimento de habilidades de mensuração e operacionalização de ferramentas é essencial para que o estudante deixe o papel passivo e se torne um sujeito-em-ação. Ao "ver e fazer", os conceitos passam a fazer mais sentido, pois deixam de ser apenas "esboços no papel" para se tornarem fenômenos observáveis e quantificáveis.

Por fim, a capacidade de A5 em mencionar a "escala" do aparelho indica a estabilização de um invariante operatório técnico sobre a natureza das grandezas elétricas. Como destaca a pesquisa de Rocha e Catarino (2020), a experimentação facilita a explicitação das ideias, permitindo que o professor observe o progresso da aprendizagem e intervenha para transformar conhecimentos implícitos em teoremas científicos explícitos. Assim, o multímetro atuou como uma ponte entre o "mundo dos objetos" e o "mundo dos conceitos", consolidando a alfabetização científica dos discentes.

Questão 14: O que aconteceu na geração quando você mudou de direção (Norte, Sul...)?

A Questão 14 do relatório final funciona como um instrumento de tomada de consciência sobre a influência do azimute e da direcionalidade na eficiência energética. O objetivo aqui é verificar a integração entre conhecimentos de física fotovoltaica e orientação geográfica, exigindo que o estudante realize o esforço de transpor o conhecimento da forma operatória (o ato de girar a placa e verificar a bússola no celular) para a forma predicativa (o saber explicar por que a orientação ao Norte é a mais produtiva para o hemisfério Sul).

Abaixo, apresentam-se as manifestações de quatro estudantes registradas no relatório, evidenciando a estabilização de invariantes operatórios científicos:

Estudante A5: *"Para o Norte gerou mais força, como a professora explicou"*.

Estudante A30: *"Vimos que a direção muda tudo na placa"*.

Estudante A16: *"O ângulo e a localização mudam. Utilizando a bússola temos melhor precisão"*.

Estudante A24: *"Sobre como a inclinação [e direção] afeta muito na placa solar"*.

A análise dessas respostas demonstra que os estudantes consolidaram o invariante da direcionalidade, relacionando a teoria apresentada anteriormente com a validação experimental ocorrida na prática. A manifestação do estudante A5 revela a estabilização de um teorema-em-ação verdadeiro, no qual ele confirma a eficácia da orientação ao Norte para a localidade de Dourados-MS, comprovando que a situação prática serviu como suporte para a construção de significados estáveis.

O relato do estudante A16, ao mencionar explicitamente o uso da bússola para obter "melhor precisão", destaca o papel fundamental das representações simbólicas (R) e dos instrumentos de mediação para a formalização do saber científico. Conforme aponta Rocha e Catarino (2020), a abordagem experimental torna o conhecimento físico "mais marcante", pois permite ao estudante ver "como a coisa acontece em si", facilitando a visualização das variáveis envolvidas (como a corrente elétrica variando no visor do multímetro conforme a direção da placa). Este protagonismo rompe com a passividade e permite que o estudante atue como um sujeito-em-ação.

Ribeiro (2020) quando apresenta seu trabalho sobre as Leis de Kepler, observa que o uso de maquetes e experimentos envolvendo conceitos espaciais e geométricos torna a aprendizagem muito mais significativa. Ao alterarem a orientação da placa e observarem a flutuação da tensão, os discentes elevaram o conhecimento do plano concreto para o abstrato, organizando seus esquemas para lidar com a multivariabilidade do sistema fotovoltaico.

Assim, os dados colhidos nesta questão comprovam que a variedade de situações permitiu aos estudantes superarem generalizações simplistas (como "basta ter sol") para adotarem uma visão técnica integrada, na qual a localização e a orientação geográfica são reconhecidas como determinantes para a produção real de energia.

- Aula 7 - Palestra

As situações vivenciadas nas Aulas 7 e 8, dedicadas à palestra com um profissional externo, buscaram consolidar o campo conceitual da energia solar fotovoltaica por meio da introdução de uma linguagem técnica mais refinada e da exposição de módulos reais. Sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), esse contato com um especialista visa fortalecer os esquemas dos estudantes e ampliar suas representações simbólicas (R), permitindo que eles observem a aplicação do conhecimento físico em um contexto sociotécnico real.

As manifestações colhidas nas Questões 15 a 19 do relatório final demonstram como os estudantes integraram as informações da palestra aos conhecimentos construídos ao longo da sequência, atingindo um nível mais estável da forma predicativa do conhecimento (o "saber dizer").

Questão 15: Sobre a nossa Palestra, descreva suas impressões sobre a aula:

A Questão 15 do relatório final funciona como um instrumento de tomada de consciência e avaliação do engajamento atitudinal dos estudantes frente a uma situação de síntese. Ela mobiliza a capacidade do estudante de refletir sobre a utilidade da palestra como uma ponte entre o conhecimento escolar e a realidade profissional sociotécnica, exigindo que ele avalie como as informações de um especialista contribuíram para a organização de seus próprios esquemas cognitivos. Segundo a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), esse momento de fechamento é crucial para que o estudante realize a transição da forma operatória para a forma predicativa, expressando o valor e o sentido do que foi assimilado ao longo da sequência.

Abaixo, apresentam-se as manifestações de sete estudantes, evidenciando a recepção positiva da turma:

Estudante A11: *"A palestra foi bem interessada e bem explicada"*.

Estudante A28: *"Achei bem interessante, pois explicou de uma forma bem clara de como funciona a energia solar"*.

Estudante A30: *"As [apresentações] eram bem confeccionadas, explicativas e a apresentação sobre o tema tirou algumas dúvidas presentes na minha cabeça"*.

Estudante A32: *"A palestrante explicou muito bem o conteúdo, e foi bem informativo"*.

Estudante A5: *"Foi uma palestra muito boa aprendi bastante, também como funcionava um inversor"*.

Estudante A24: *"Boa, teve uma ótima explicação e foi interessante"*.

Estudante A25: *"A apresentadora é especialista no tema e consegue entender"*.

As respostas revelam que a palestra com um profissional externo atuou como um potente fator motivador e facilitador da aprendizagem. As manifestações de A30 e A32 indicam que o uso de materiais visualmente bem confeccionados e a linguagem técnica clara ajudaram a reduzir o "ruído conceitual", permitindo que os estudantes resolvessem lacunas remanescentes em suas estruturas cognitivas. Conforme destaca Faria (2024), o uso de recursos pedagógicos inovadores e o contato com a realidade da profissão despertam a curiosidade e a criticidade, facilitando a promoção de uma aprendizagem significativa através da conexão com o cotidiano e a tecnologia.

O registro do estudante A5, ao mencionar explicitamente o aprendizado sobre o "inversor", demonstra como a palestra contribuiu para aumentar as representações simbólicas (R) dos discentes, introduzindo componentes técnicos que compõem o sistema fotovoltaico real. Campelo (2019), observou que a interação com especialistas e o contato com módulos fotovoltaicos reais favorecem o desenvolvimento da linguagem técnica e científica, permitindo que os estudantes superem explicações baseadas apenas no senso comum.

A resposta de A25, ao reconhecer a autoridade técnica da palestrante ("especialista"), valida a estratégia de trazer atores externos para a sala de aula, o que, segundo Araujo (2019),

torna a Física uma disciplina mais cativante e livre aos olhos dos estudantes. Assim, os dados da Questão 15 confirmam que a palestra cumpriu seu papel de reconciliação integradora, consolidando os invariantes operatórios construídos ao longo da sequência e fortalecendo o campo conceitual de energia solar fotovoltaica dos discentes.

Questão 16: O que mais chamou sua atenção na palestra?

A Questão 16 do relatório final funciona como um instrumento de tomada de consciência sobre a relevância de variáveis técnicas e profissionais em um contexto real. A questão mobiliza a capacidade do estudante de identificar e extrair propriedades pertinentes de uma situação sociotécnica (S), permitindo que ele organize seus esquemas de contextualização. Ao selecionar o que foi mais impactante, o estudante revela quais invariantes operatórios estão em fase de estabilização, conectando o saber acadêmico à prática da engenharia e às dimensões econômicas e sociais do campo da energia solar.

Abaixo, apresentam-se as manifestações de seis estudantes registradas no relatório, seguidas de uma discussão aprofundada:

Estudante A11: *"Foi perceber como a energia solar é limpa renovável e pode ser usada em larga escala trazendo economia"*.

Estudante A25: *"A parte que tem como desenhar a planta para onde a compra vai ser"*.

Estudante A30: *"O funcionamento do sistema inteiro, como funciona junto com os outros elementos e com a Energisa"*.

Estudante A24: *"O fato dela viajar o mundo"*.

Estudante A5: *"Aprendi bastante, também como funcionava um inversor"*.

Estudante A32: *"O trabalho que ela realiza na cidade e a logo da empresa"*.

As respostas revelam a construção de uma visão sistêmica e a ampliação do campo conceitual para além dos limites da sala de aula. O destaque reside na manifestação do estudante A30, que demonstra a coordenação de múltiplos invariantes ao relacionar o gerador físico com a rede elétrica externa (Energisa). Segundo Vergnaud (1990, 1998), a ciência é intrinsecamente sistêmica, e um conceito só adquire sentido pleno por meio da diversidade de problemas que ele ajuda a resolver, incluindo as interfaces operacionais e institucionais.

Enquanto A25 e A24 focam em aspectos procedimentais e de carreira (desenho de plantas e mobilidade profissional), o estudante A11 mobiliza um esquema socioambiental, articulando a natureza da fonte com a viabilidade econômica em larga escala. Faria (2024) nos diz que o contato com a realidade da profissão e o uso de materiais potencialmente significativos despertam a curiosidade e instigam o estudante a deixar a passividade, tornando-o um sujeito-em-ação capaz de correlacionar conhecimentos prévios e novos de forma organizada.

A menção de A5 ao "inversor" evidencia o enriquecimento das representações simbólicas (R), onde novos termos técnicos passam a compor o repertório do estudante para descrever o real. Na pesquisa de Campelo (2019) sobre o efeito fotovoltaico, observou-se que a mediação que privilegia temas atuais e o contato com especialistas é imprescindível para que os discentes desenvolvam uma linguagem técnica e científica refinada, superando explicações baseadas apenas no senso comum.

Resultados semelhantes são encontrados no trabalho de Rocha e Catarino (2020), que destacam que a observação de "como a coisa acontece em si" no mundo profissional é "muito mais marcante" para o estudante, favorecendo uma aprendizagem significativa. A diversidade de interesses manifestados — desde a logo da empresa (A32) até a economia de escala (A11) — valida a palestra como uma situação de reconciliação integradora, permitindo que os diferentes subcampos (física, geografia, economia) se fundam em uma estrutura conceitual mais estável e potente. Assim, os dados indicam que a turma progrediu para um nível de integração sistêmica, onde a energia solar é compreendida como um sistema complexo e multivariado.

Questão 18: Após todas as aulas, o que você entende hoje sobre energia solar fotovoltaica?

A Questão 18 do relatório final constitui uma situação de síntese e argumentação, que exige do estudante a organização sistêmica do conhecimento construído ao longo da sequência didática. Neste ponto, o sujeito deve ser capaz de enunciar de forma clara as propriedades, relações e transformações do objeto físico, transformando o conhecimento operatório (o "saber fazer" das aulas práticas) em um discurso científico estruturado. Ao realizar esse esforço cognitivo, o aluno revela a "ponta visível do iceberg" de sua estrutura cognitiva, explicitando os invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) que agora sustentam sua compreensão sobre o fenômeno.

Abaixo, apresentam-se as manifestações de estudantes registradas no relatório final, evidenciando a evolução conceitual da turma:

Estudante A11: *"É a produção de energia elétrica a partir da luz do sol, de forma limpa e renovável"*.

Estudante A30: *"Pude entender que a energia solar fotovoltaica usa direta de uma transformação da luz do sol em energia elétrica"*.

Estudante A32: *"Que energia fotovoltaica é de extrema importância por ser renovável e sustentável e agrega muito no brasil"*.

Estudante A5: *"Eu pensava que o painel solar absorvia calor para gerar energia, mas entendo que é pelo índice solar (luz, irradiância solar)"*.

Estudante A31: *"O fóton é transferido para a banda de condução, gerando eletricidade"*.

Essas respostas revelam a superação definitiva do obstáculo térmico identificado na etapa de diagnóstico da pesquisa. Inicialmente, a maioria dos estudantes operava com o teorema-em-ação de que o "calor do sol gera eletricidade". A resposta do estudante A5 é emblemática nesse sentido, pois ele realiza uma tomada de consciência explícita da ruptura necessária entre o seu conhecimento prévio (modelo térmico) e o modelo científico (modelo luminoso/fotônico), reconhecendo que a variável organizadora é a luz e não o aquecimento. Conforme defende Vergnaud (1990), a aprendizagem significativa muitas vezes exige essas rupturas com esquemas da mecânica ou termodinâmica clássica para a apropriação de conceitos da Física Moderna.

As manifestações de A11, A30 e A31 demonstram a estabilização de teoremas-em-ação científicos robustos, onde a "conversão direta" e a "luz do sol" aparecem como pilares da definição. O estudante A31, especificamente, demostra uma evolução conceitual, ao mobilizar conceitos-em-ação microscópicos como "fóton" e "banda de condução" para justificar a geração elétrica. Esse uso adequado da terminologia científica é um forte indício de que a mediação docente e as situações-problema propostas permitiram ao aluno extrair as propriedades fundamentais do fenômeno fotovoltaico.

Nossos resultados concordam com os apresentados por Campelo (2019) ao destacar que, o uso de sequências investigativas favorece o desenvolvimento da linguagem técnica e

científica dos alunos, permitindo-lhes identificar as variáveis de conversão energética de forma fundamentada.

Por fim, a resposta de A32 destaca a integração de um esquema socioambiental e sistêmico, relacionando a física do painel à importância da sustentabilidade na matriz brasileira. Segundo Faria (2024), quando o aluno é provocado a protagonizar seu conhecimento através de métodos investigativos e materiais significativos, ele desenvolve uma visão crítica que vai além da memorização de fórmulas. Assim, os dados da Questão 18 confirmam que a sequência didática cumpriu seu objetivo central: promover a reorganização conceitual, levando a turma de níveis intuitivos e macroscópicos para uma compreensão técnica, física e contextualizada do campo fotovoltaico.

Questão 19: O que você ainda tem dúvida sobre esse tema?

A Questão 19 do relatório final funciona como um mecanismo de tomada de consciência sobre as fronteiras do campo conceitual construído pelo estudante. Essa pergunta desafia o estudante a avaliar seu próprio conhecimento, identificando o que já foi consolidado e o que ainda permanece em aberto. Ao explicitar suas lacunas, o estudante fornece ao professor indicadores sobre os limites temporais e cognitivos do processo de conceitualização.

Abaixo, apresentam-se as manifestações de seis estudantes, revelando diferentes estágios de segurança e curiosidade intelectual:

Estudante A11: *"não tenho mais nenhuma duvida"*.

Estudante A24: *"Como funciona dentro da placa"*.

Estudante A25: *"Eu ainda tenho varias duvidas"*.

Estudante A1: *"Entendi, na verdade os perguntas e as duvidas se resolveram na hora que o professor está falando algo"*.

Estudante A30: *"Não tenho muitas dúvidas"*.

Estudante A32: *"Não tenho mais nenhuma dúvida em mente referente a esse assunto"*.

As respostas indicam que, embora a maioria dos estudantes manifeste segurança após a sequência didática, a persistência de dúvidas específicas não deve ser interpretada como falha,

mas como um indicador natural de que o domínio de um campo conceitual complexo é um processo lento, gradual e de longo prazo. Como afirma Garibotti (2019), a apropriação de todas as propriedades de um conceito não ocorre em um só golpe, exigindo a vivência de diversas situações ao longo de anos para que o conhecimento se estabilize plenamente.

O destaque analítico reside na dúvida do estudante A24 sobre "como funciona dentro da placa". Esse questionamento revela a dificuldade intrínseca de transição entre o nível macroscópico (o funcionamento visível do painel e sua instalação) e o nível microscópico (a interação fóton-elétron e a física dos semicondutores). Pesquisas na área de física mostram que os estudantes costumam ter facilidade em explicar fenômenos de maneira macroscópica, mas encontram obstáculos epistemológicos quando a situação exige a mobilização de esquemas sobre a estrutura interna da matéria.

A manifestação de A25, que ainda possui "várias dúvidas", reforça que o desenvolvimento cognitivo não é uniforme entre os aprendizes. Conforme defende Vergnaud (2017), os conhecimentos implícitos (invariantes operatórios) são a base oculta do "iceberg" da conceitualização, e muitas vezes o estudante consegue agir corretamente em situações práticas, mas ainda carece de vocabulário ou maturidade para explicitar formalmente todos os princípios científicos envolvidos.

Dessa forma, a persistência de dúvidas registradas nesta etapa final atua como um motor para futuras aprendizagens, indicando que a desestabilização de esquemas prévios foi iniciada, mas que o processo de reorganização cognitiva continua em curso. Como aponta a literatura, o papel da mediação docente é fundamental para ajudar o estudante a transformar esses questionamentos e conhecimentos-em-ação em teoremas científicos explícitos, garantindo que a aprendizagem seja de fato significativa e transferível para novos contextos.

6.4. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados e resultados colhidos após a aplicação do produto educacional fundamenta-se na premissa de que a conceitualização constitui o cerne do desenvolvimento cognitivo, conforme postulado por Vergnaud (1990, 2009). Esta abordagem qualitativa interpretativa e interventiva compreende o conhecimento não como uma cópia passiva da realidade, mas como uma construção progressiva mediada pela interação do sujeito com situações diversas, resultando na formação e reorganização de esquemas de ação. Segundo Moreira (2002), o referencial da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) permite investigar o funcionamento cognitivo do sujeito-em-situação, mapeando como os aprendizes pensam, explicam e representam os fenômenos, permitindo localizar continuidades e rupturas entre o conhecimento prévio e o saber científico. Dessa forma, as manifestações dos estudantes são tratadas como a "ponta visível de um iceberg", sustentada por uma base submersa de invariantes operatórios implícitos que dirigem a conduta.

Para operacionalizar a trajetória do domínio progressivo da turma, realiza-se uma análise por meio de níveis de cognição inspirados no estilo de Zoller (2002), que categorizam o desempenho dos estudantes entre situações de baixa e alta ordem cognitiva. Essa estrutura analítica foca na identificação e na evolução dos invariantes operatórios — conceitos-em-ação e teoremas-em-ação — mobilizados pelos alunos durante a resolução das tarefas propostas. A classificação em níveis permite observar se os esquemas dos estudantes permanecem em um plano intuitivo e fragmentado ou se avançam rumo a uma integração sistêmica e estável do campo conceitual. Pesquisas semelhantes, como as de Cunha et al. (2025) e Rocha e Catarino (2020), demonstram a eficácia de utilizar níveis cognitivos para diferenciar como estudantes de diversos graus de escolaridade articulam conhecimentos científicos frente a obstáculos epistemológicos, porém utilizados de formas variadas e articulada para análise dessa dissertação.

Adicionalmente, a investigação analisa as situações (S) propostas como tarefas desafiadoras que conferem sentido aos conceitos, funcionando como a principal via de acesso à conceitualização. Uma situação didática eficaz deve atuar na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) do estudante, provocando desequilíbrios que estimulem a modificação e a combinação de novos esquemas. A diversidade das atividades vivenciadas — desde o questionário diagnóstico e o jogo mobilizador até a experimentação prática e a palestra técnica — permitiu acompanhar o

progresso do estudante como um sujeito-em-ação, conforme observado nos trabalhos de Campelo (2019) sobre o efeito fotovoltaico e Ribeiro (2020) sobre as leis de Kepler, que também utilizaram a variação sistemática de situações para forçar a reorganização cognitiva.

A importância dessa estrutura analítica reside na observação da transição da forma operatória do conhecimento (saber agir em situação) para a forma predicativa (saber explicitar objetos e propriedades). Ao fundamentar a análise em autores como Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008), Moreira (2002) e o próprio Vergnaud, a pesquisa garante o rigor necessário para descrever como a variedade de situações facilitou a reorganização dos esquemas e o fortalecimento do campo conceitual dos discentes. Assim como verificado no trabalho de Lameu (2014) sobre o efeito fotoelétrico, o acompanhamento longitudinal dos teoremas-em-ação permite validar o produto educacional como uma ferramenta capaz de promover a alfabetização científica e a autonomia intelectual frente à complexidade da física moderna.

6.4.1. Análise do Desenvolvimento Cognitivo: Invariantes e Esquemas

Para organizar a análise do desenvolvimento cognitivo fundamentada na Teoria dos Campos Conceituais (TCC), estruturamos primeiro a definição dos níveis de evolução baseados na complexidade dos esquemas e invariantes operatórios. Esta classificação utiliza como suporte a categorização de Zoller (2002), que diferencia as habilidades cognitivas entre as de Baixa Ordem (LOCS) e as de Alta Ordem (HOCS). O Quadro 13 detalha essa organização:

Quadro 13 - Níveis de Evolução Conceitual e sua Associação com Zoller

Nível	**Nome do Nível**	**Zoller**	**Definição**	**Exemplo de Resposta Típica**
N1	Esquemas Intuitivos (Pré-conceituais)	LOCS (Lower Order Cognitive Skills)	Predomínio de explicações baseadas em experiências cotidianas e analogias superficiais. Ausência de diferenciação entre variáveis físicas pertinentes.	*"Mais sol = mais energia"* (Relação linear simples).
N2	Diferenciação Inicial	LOCS (Habilidades de Identificação)	O aluno reconhece variáveis isoladas (ângulo, sombra), mas as articula de forma fragmentada ou	*"O ângulo pode influenciar, mas não sei por quê".*

			instável. Teoremas-em-ação começam a surgir.	
N3	Integração Parcial	HOCS (Higher Order Cognitive Skills)	Articulação entre múltiplos conceitos-em-ação (espectro, gap, geometria). Invariantes começam a se consolidar, permitindo generalizações iniciais.	*"Ângulo e espectro alteram a incidência e a corrente".*
N4	Integração Sistêmica e Estabilizada	HOCS (Pensamento Crítico e Conexões)	Compreensão coerente do campo conceitual. Mobiliza esquemas integrados para justificar fenômenos variados e reorganiza esquemas diante de novos problemas.	*"A eficiência depende do espectro, ângulo e propriedades do material".*

Fonte: Elaboração própria, 2026.

A análise dos dados e resultados será realizada individualmente para os 19 estudantes, acompanhando de forma longitudinal o nível de desenvolvimento cognitivo atingido em cada uma das quatro etapas fundamentais da sequência didática. Essa abordagem permite identificar não apenas o acerto final, mas a trajetória de construção de significados de cada sujeito-em-ação.

Os registros foram colhidos e serão analisados nas seguintes situações:

1. Questionário de Levantamento de Conhecimentos Prévios (Situação 1)

Nesta etapa inicial, buscou-se identificar os invariantes operatórios iniciais e os esquemas baseados no senso comum. A análise microestrutural foca na detecção de teoremas-em-ação intuitivos, como o "esquema térmico", que servirá de ponto de partida para observar as futuras rupturas conceituais.

2. Questionário após a Conceitualização (Situação 2)

Após as aulas teóricas e a resolução de problemas (como o miniprojeto residencial), os registros visam identificar a introdução de novos invariantes operatórios e o uso de terminologia

científica (fóton, gap, irradiância). Observa-se aqui como o estudante começa a diferenciar variáveis e a transitar para níveis cognitivos superiores (LOCS para HOCS).

3. Relatório da Prática Experimental (Situação 3)

Esta situação de validação experimental permitiu que os estudantes confrontassem seus esquemas com evidências empíricas (uso do multímetro e variação de ângulos). Os registros nesta etapa revelam como a manipulação física das placas solares auxiliou na estabilização de teoremas-em-ação científicos sobre a geometria da radiação e as perdas de eficiência.

4. Relatório Final (Situação 4)

O registro final funciona como o processo de explicitação e tomada de consciência. A análise foca na forma predicativa do conhecimento, avaliando a capacidade do estudante de sintetizar e articular as dimensões físicas, técnicas e ambientais do sistema fotovoltaico de forma sistêmica e estável.

Ao final da exposição por situação, será realizada uma análise comparativa integradora das quatro etapas para os 19 estudantes. Esta síntese longitudinal permitirá verificar:

- Evolução Cognitiva: Mapeamento de quantos estudantes migraram dos níveis LOCS (1 e 2) para os níveis HOCS (3 e 4) ao longo da sequência.
- Rupturas, permanência e ampliação: Identificação dos momentos exatos em que obstáculos epistemológicos foram superados ou onde esquemas prévios persistiram.
- Avanços e Regressões: Utilização de critérios para avaliar se o aprendizado foi progressivo ou se situações de maior complexidade provocaram retornos momentâneos a esquemas mais simples, validando a eficácia do produto educacional na expansão do campo conceitual dos discentes.

6.4.1.1. Situação 1 – Questionário dos levantamentos prévios.

A análise da Situação 1 (S1), referente ao Questionário de Levantamento de Conhecimentos Prévios, constitui a etapa fundamental de sondagem dos invariantes operatórios iniciais dos estudantes. Sob o referencial da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), o objetivo desta fase é mapear a "base submersa" da conceitualização, identificando os teoremas-em-ação (proposições tidas como verdadeiras) e os conceitos-em-ação (categorias consideradas

pertinentes) que os estudantes mobilizam para explicar o fenômeno fotovoltaico. Segundo Vergnaud (1990), todo conhecimento formal é apenas a ponta visível de uma estrutura sustentada por conhecimentos implícitos que dirigem a conduta do sujeito.

No Quadro 14, apresenta-se a classificação dos 19 estudantes, com trechos fiéis extraídos dos arquivos de levantamento, correlacionando-os aos níveis de evolução cognitiva inspirados em Zoller (2002).

Quadro 14: Classificação do Desenvolvimento Cognitivo na Situação 1 (Diagnóstico)

Estudante	**Nível**	**Trecho da Resposta (Levantamento Prévio)**	**Justificativa do Invariante Operatório (IO) Mobilizado**
A1	N2	*"Energia solar é resultado do aquecimento."*	Modelo Térmico: IO baseado no senso comum que confunde calor com radiação.
A2	N2	*"O sol bate na placa e gera força."*	Diferenciação Inicial: Identifica a fonte luminosa, mas o nexo físico é vago.
A3	N1	*"Não sei."*	Ausência de esquema: Não mobiliza conhecimentos científicos básicos ou relações causais.
A4	N2	*"A placa esquenta e libera energia."*	Modelo Térmico: Invariante estável focado no aquecimento como motor da geração.
A5	N3	*"Radiação que bate nos elétrons."*	Integração Parcial: Inicia a articulação entre radiação e o nível microscópico.
A6	N2	*"Depende do sol forte e do tempo."*	Esquema Macroscópico: Foca em variáveis climáticas e ambientais externas.
A7	N2	*"O calor do sol entra na placa."*	Modelo Térmico: Invariante centrado na condução de calor para as células.
A9	N2	*"Painel precisa de sol e calor."*	Diferenciação: Identifica variáveis isoladas sem coordenação física interna.
A10	N1	*"Respondi o que sabia, o resto chutei."*	Esquema Frágil: Invariantes não estabilizados, recorrendo ao palpite imediato.
A11	N2	*"Placa capta a luz e o calor."*	Modelo Óptico Superficial: Reconhece a luz, mas mantém o resíduo do modelo térmico.

A12	N3	*"Células convertem a radiação em eletricidade."*	Integração: IO científico funcional; já reconhece a radiação como motor principal.
A14	N1	*"Transmissão luminosa depende de superfície limpa."*	Esquema Pontual: Limita-se a uma observação superficial de manutenção sem nexo físico.
A16	N3	*"Painel contém fótons… luz captada…"*	Integração Parcial: Reconhece a natureza da luz, embora apresente misturas conceituais.
A19	N2	*"Produção vem do tempo quente."*	Modelo Térmico: IO macroscópico associado diretamente à temperatura ambiente.
A24	N2	*"Calor acumulado ativa produção."*	Modelo Térmico Consolidado: IO resistente e centrado no acúmulo de energia térmica.
A25	N2	*"Espelhos ajudam mas podem atrapalhar."*	Esquema de Proteção: Identifica limites operacionais e riscos de excesso de incidência.
A26	N2	*"Energia vem do sol e tempo bom."*	Diferenciação: Identificação simples de variáveis climáticas (LOCS).
A28	N3	*"Luz ativa os componentes da placa."*	Integração: Articula a fonte luminosa ao dispositivo físico de forma causal.
A30	N1	*"Painel funciona com calor."*	Esquema Intuitivo: Associação direta entre a temperatura percebida e a geração.

A análise estatística da Situação 1 revela o perfil inicial de baixa ordem cognitiva (LOCS) da maioria da turma:

- Nível 1 (Intuitivo): 4 estudantes (21,1%). Predomínio do silêncio, do "chute" ou de esquemas puramente táteis.
- Nível 2 (Diferenciação): 11 estudantes (57,9%). É o nível dominante, caracterizado pela identificação de variáveis macroscópicas, mas fortemente influenciado pelo obstáculo térmico.
- Nível 3 (Integração Parcial): 4 estudantes (21,1%). Pequeno grupo que já demonstra subsunçores científicos para relacionar radiação e eletricidade.

A predominância do invariante operatório térmico (A1, A4, A7, A19, A24, A30) evidencia um obstáculo epistemológico clássico: a confusão entre calor e efeito fotovoltaico. Conforme

discutido por Campelo (2019), estudantes tendem a transpor esquemas da Termodinâmica clássica para explicar fenômenos da Física Moderna, acreditando que o aquecimento das placas é o motor da geração. Na visão de Vergnaud (2017), esses conhecimentos prévios são "teoremas-em-ação" que, embora falsos sob a ótica científica, são funcionais para o aluno interpretar sua realidade imediata.

A trajetória identificada em alunos de Nível 1, como A3 e A10, confirma o que Moreira (2002) e Lameu (2014) descrevem como a necessidade de fornecer situações desestabilizadoras (como o Kahoot ou a prática) para que o silêncio e o "chute" deem lugar à conceitualização científica. Este diagnóstico inicial valida a importância da sequência didática em focar na ruptura com o modelo térmico e na introdução de novos conceitos-em-ação (como fóton e gap), essenciais para que os esquemas intuitivos evoluam para uma estrutura sistêmica (N4).

6.4.1.2. Situação 2 – Questionário após a aula de conceitualização.

A análise da Situação 2 (S2), referente ao Questionário após a Conceitualização, marca a etapa de transição entre os esquemas intuitivos iniciais e a introdução formal de conceitos científicos no campo da energia solar fotovoltaica. Sob a ótica da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud, esta fase foca na Organização do Conhecimento e na transição da forma operatória (saber agir) para a forma predicativa (saber dizer), onde o estudante é desafiado a explicitar as propriedades e relações do objeto de estudo.

O objetivo pedagógico desta situação, composta por aulas com slides e um miniprojeto, foi fornecer novos elementos estruturantes — como *fóton*, *gap* de energia e semicondutores — para que os discentes pudessem substituir os invariantes operatórios térmicos por modelos científicos mais robustos. Segundo Moreira (2002), é através do enfrentamento de novas situações que os conhecimentos-em-ação (conceitos e teoremas) são reorganizados, permitindo ao sujeito dominar classes de problemas progressivamente mais complexos.

O quadro 15 apresenta a classificação dos 19 estudantes fundamentada nas evidências da etapa de conceitualização e nos níveis de complexidade cognitiva de Zoller (2002) adaptados para a TCC.

Quadro 15: Desenvolvimento Cognitivo na Situação 2 (Conceitualização)

Estudante	Nível	Trecho de Resposta (Conceitualização)	Justificativa do Invariante Operatório (IO)
A1	N3	*"Perda por aquecimento... e perda por radiação."*	Evolução: Começa a distinguir variáveis de perdas, incorporando a radiação como fator técnico.
A2	N2	*"Nem toda luz gera energia igual."*	Estagnação: O IO permanece fragmentado; identifica a variável, mas sem nexo físico microscópico.
A3	N1	"Calor" "inclinação"	Resistência: O esquema intuitivo. Fragilidade dos esquemas; o conhecimento científico ainda não se tornou funcional.
A4	N2	*"Luz bate na placa e produz."*	Identificação: Mobiliza um esquema macroscópico simples, sem adotar os conceitos científicos de S2.
A5	N2	*"A radiação ativa a placa."*	Instabilidade: Apresenta um IO menos preciso que em S1, comum em fases de reacomodação de novos conceitos.
A6	N2	*"Trajetória do sol ajuda."*	Diferenciação: Reconhece o fator geográfico, mas o esquema explicativo ainda é macroscópico.
A7	N2	*"O sol esquenta as células."*	Persistência: O modelo térmico resiste à teoria; o aluno assimila a luz como calor.
A9	N2	*"Luz bate e gera."*	Identificação: Esquema linear sem integração de aspectos microscópicos ou espectrais.
A10	N3	*"A teoria ajudou a entender que não é só o sol."*	Avanço: Incorpora novos conceitos teóricos e abandona a visão puramente intuitiva.
A11	N2	*"Ângulo influencia o lucro."*	Contextualização: Foca na dimensão econômica, mas o IO físico permanece em nível de identificação.

A12	N4	*Apresentou Cálculos de dimensionamento precisos*	Sistêmico: Integra física e matemática de forma estável; domina a regra de ação técnica.
A14	N2	*"Sombras ou direção errada caem a tensão."*	Diferenciação: Identifica barreiras ópticas como invariantes que afetam a eficiência.
A16	N4	*"Nem toda luz pertencem a mesma frequência"*	Sistêmico: Articula microfísica (fótons/materiais) e parâmetros técnicos de forma sistêmica.
A19	N2	*"Azimute ajuda na captação."*	Identificação: Utiliza termo técnico de forma isolada, sem coordenação com o mecanismo físico.
A24	N4	*Fez relação entre Gap e Geometria*	Ruptura: Abandona o modelo térmico inicial pelo modelo quântico de bandas e energia.
A25	N2	*"Reflexão pode ser perda."*	Diferenciação: Identifica o fenômeno óptico da reflexão como uma variável de eficiência.
A26	N2	*"Sol batendo gera volts."*	LOCS: Identificação de variável linear associada à medição básica de tensão.
A28	N3	*"Elétron começa a ficar muito energizado, ele pula uma barreira."*	Integração: Consolida conceitos microfísicos introduzidos e começa a articular o processo.
A30	N3	"Fóton transferido para banda de condução por frequência específica"	Avanço: Passa a organizar conceitos microfísicos introduzidos e começa a articular o processo.

Fonte: Elaboração própria, 2026.

O quadro 16 apresenta a análise detalhada, articulando os dados quantitativos, a evolução entre as etapas, destacando os níveis cognitivos atingidos nas duas situações analisada. A migração entre os níveis de complexidade cognitiva reflete o impacto da introdução de novos invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) científicos.

Quadro 16 – Comparação quantitativa entre os níveis cognitivos atingidos nas situações 1 e 2.

Nível de Conceitualização	Situação 1 (Conhec. prévios)	Situação 2 (Conceitualização)	Variação
Nível 1 (Intuitivo)	4 (21,1%)	1 (5,3%)	-75%
Nível 2 (Diferenciação)	11 (57,9%)	11 (57,9%)	Estável
Nível 3 (Integração)	4 (21,1%)	4 (21,1%)	Estável
Nível 4 (Sistêmico)	0 (0,0%)	3 (15,8%)	Novo Grupo

Fonte: Elaboração própria, 2026.

A análise do Quadro 16 revela que:

1. Erradicação quase total do Nível 1: A base intuitiva, marcada pelo "chute" e ausência de esquemas científicos, caiu drasticamente, indicando que a aula de slides forneceu os esquemas mínimos necessários para a maioria dos alunos.

2. Surgimento da Elite Sistêmica (N4): Três estudantes (A12, A16, A24) atingiram o patamar máximo de integração, sendo capazes de correlacionar conceitos físicos (natureza dos fótons e gap) com o dimensionamento técnico.

3. Resistência no Nível 2: A manutenção de 57,9% da turma neste nível comprova que o invariante térmico (confundir calor com luz) é um obstáculo epistemológico resiliente que a instrução teórica isolada tem dificuldade em romper.

A análise dos resultados da Situação 2, focada na etapa de conceitualização, revela um panorama de transição e reorganização cognitiva no qual a mediação docente permitiu avanços significativos, embora tenha evidenciado a complexidade inerente ao domínio de um campo conceitual. Conforme postulado por Vergnaud (1990, 2017), o conhecimento se desenvolve à medida que o indivíduo estabelece relações e conceitualiza situações que exigem o domínio de propriedades diferentes de um mesmo conceito. Nesse estágio, a introdução de materiais potencialmente significativos resultou no enriquecimento das Representações Simbólicas (R) dos estudantes, com o uso de termos técnicos como "fóton" e "espectro" por alunos como A16 e A30, o que valida a eficácia da sequência didática em mover o aprendiz para além do senso comum.

A incorporação de invariantes operatórios científicos fundamentais é ilustrada pelo estudante A30 que, ao mencionar que o material é projetado para uma "frequência específica",

demonstra a compreensão da seletividade espectral do silício. Essa resposta indica a superação de esquemas intuitivos em favor de uma compreensão técnica, classificando-o no Nível 3 (Integração Parcial), onde o aluno já opera com habilidades de alta ordem cognitiva (HOCS) para justificar a eficiência do sistema. Conforme discutido por Rocha e Catarino (2020), a construção do conhecimento científico é fortalecida quando o aluno consegue transitar da forma operatória, que é o saber agir sobre o painel, para a forma predicativa, que consiste em saber explicar a excitação eletrônica e os processos físicos envolvidos.

Entretanto, observou-se o fenômeno da instabilidade conceitual em alunos como A5, que transitou do nível de integração para a diferenciação inicial. De acordo com Garibotti (2019) e Vergnaud (2013), a introdução de uma maior complexidade lógica em situações novas pode causar retrocessos momentâneos na clareza da explicação enquanto o sujeito tenta acomodar novos conhecimentos técnicos em esquemas antigos. Esse processo de maturação evidencia que a mudança conceitual não é imediata, mas sim um processo de "muito fôlego" que ocorre ao longo do tempo através da exposição a diferentes níveis de exigência cognitiva.

A persistência do Nível 2 em diversos estudantes, como A4, A19 e A24, destaca a resistência do obstáculo térmico, que é a crença de que o calor é o motor da geração de energia. Esse obstáculo aparece como um invariante operatório estável que resiste à instrução puramente teórica, confirmando a tese de Moreira (2002) e Campelo (2019) de que o conhecimento prévio pode ser impeditivo se não houver situações de ruptura. Tais alunos mantêm o que Vergnaud define como a "ponta visível do iceberg" ainda muito presa a conceitos implícitos inadequados, tratando o sistema solar como uma "caixa preta" dependente apenas de condições climáticas macroscópicas.

Diante desse cenário, os dados confirmam que, embora tenha havido uma ampliação necessária nos esquemas de recepção, a ruptura definitiva com os esquemas do senso comum exige o avanço para a Situação 3, referente à prática experimental. É nesse momento de confronto com o real que o estudante, colocado como um sujeito-em-ação, poderá desestabilizar seus teoremas-em-ação falsos e consolidar a estrutura sistêmica do campo conceitual da energia fotovoltaica.

6.4.1.3. Situação 3 – Relatório de prática

A análise da Situação 3 (S3), referente à Atividade Prática Experimental, constitui o ápice da Sequência Didática ao colocar o estudante na condição de sujeito-em-ação. Sob o referencial da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud, a prática experimental funciona como a situação desestabilizadora necessária para que os conhecimentos implícitos emerjam em representações científicas. Ao manipularem multímetros e placas solares, os discentes foram desafiados a testar seus invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) frente ao dado empírico, promovendo o conflito cognitivo indispensável para a superação do senso comum.

No quadro 17 apresenta-se a classificação dos 19 estudantes monitorados em ordem numérica, mantendo a indicação de seus respectivos grupos de prática e as evidências colhidas nos relatórios.

Quadro 17: Desenvolvimento Cognitivo e Invariantes na Situação 3 (Prática Experimental)

Estudante	**Grupo**	**Nível**	**Trecho de resposta (Relatório de Prática)**	**Justificativa do Invariante Operatório (IO)**
A1	G1	N4	*"posicionaria as placas direcionadas para o norte... recomendado para a cidade de Dourados trazendo rentabilidade."*	Sistêmico: Integra geografia local e rentabilidade econômica à regra de ação física.
A2	G5	N2	*"Foi mais eficiente com 0° de inclinação (placa deitada)."*	Permanência: Invariante operatório focado na observação macroscópica direta.
A3	G2	N3	*"Na medição de 30° foi mais eficiente, que deu 6,92v."*	Ruptura: Validou a eficiência angular através do dado empírico medido.
A4	G2	N3	*"De acordo com a mudança de exposição solar, fica mais forte e mais potente."*	Ampliação: Coordenou a incidência luminosa como fator de potência.
A5	G4	N3	*"diminuiu a tensão da placa"*	Estabilização: Reconhece a causalidade entre área de contato luminosa e saída de tensão.
A6	G4	N3	*"por conta do ângulo e inclinação garante maior eficiência"*	Ampliação: Coordenou a posição física com a meta de eficiência do sistema.

A7	G5	N2	*"Houve maior incidência de luz, logo aumentou a tensão."*	Permanência: Identifica a variável luminosa, mas com nexo microfísico ausente.
A9	G3	N4	*"Norte. Onde o sol nasce com uma inclinação já semi-adequada"*	Sistêmico: Integra trajetória solar geográfica com o modelo técnico de instalação.
A10	G1	N4	*"As células produziram maior tensão na Direção Norte"*	Evolução: Abandonou o "chute" (S1) pela fundamentação baseada na tensão máxima.
A11	G4	N3	*"inclinada para sul, porque garante mais eficiência."*	Diferenciação: Busca a eficiência na inclinação, embora com erro de orientação geográfica.
A12	G2	N3	*"o sistema de placas solares apresenta maior eficiência quando sua instalação é realizada para o lado norte"*	Consolidação: Invariante geométrico funcional aplicado ao contexto de Dourados.
A14	G2	N3	*"Sua tensão diminuiu razoavelmente, sem sombra mediu 7,60v e com sombra total mediu 6,50v."*	Modificado: Identificou a sombra como obstáculo técnico real via medição.
A16	G3	N4	*"A incidência solar sobre a placa, garantindo assim a eficiência energética da placa."*	Sistêmico: Articulou a causa física (incidência) com a meta técnica (eficiência).
A19	G1	N4	*"É importante para uma maior rentabilidade da placa solar, usando seu potencial máximo."*	Estabilização: Vinculou o potencial técnico do sistema ao retorno econômico.
A24	G1	N4	*"nos angulos de 23° e 25° pois é o recomendado para a cidade de Dourados"*	Integração Total: Une geometria solar local à regra de ação ótima.
A25	G4	N3	*"30° por que deu 9.32 de tensão"*	Avanço: Utiliza a leitura instrumental para validar a melhor performance angular.
A26	G4	N3	*"Com exposição da luz, porque tem mais tensão de energia."*	Ruptura: Diferenciou a luz como motor da tensão via experimentação direta.

A28	G1	N4	*"A sua tensão foi diminuída pela diminuição da área de contato."*	Sistêmico: Compreendeu a relação física entre superfície ativa e geração elétrica.
A30	G4	N3	*"por conta do ângulo e inclinação garante maior eficiência"*	Ingresso: Invariante técnico funcional para explicar a orientação do painel.

Fonte: Elaboração própria, 2026.

.O quadro 18 apresenta a análise detalhada, articulando os dados quantitativos, a evolução entre as etapas, bem como, os níveis cognitivos atingidos nas duas situações analisada. A migração entre os níveis de complexidade cognitiva reflete o impacto da introdução de novos invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) científicos.

Quadro 18 – Comparação quantitativa entre os níveis cognitivos atingidos nas S1, S2 e S3.

Nível de Conceitualização	**Situação 1 (Conhec. Prévios)**	**Situação 2 (Conceitualização)**	**Situação 3 (Prática)**
Nível 1 (Intuitivo)	4 (21,1%)	1 (5,3%)	0 (0%)
Nível 2 (Diferenciação)	11 (57,9%)	11 (57,9%)	2 (10,5%)
Nível 3 (Integração)	4 (21,1%)	4 (21,1%)	10 (52,6%)
Nível 4 (Sistêmico)	0 (0,0%)	3 (15,8%)	7 (36,9%)

Fonte: Elaboração própria, 2026.

A evolução longitudinal demonstra um processo dinâmico de reestruturação de esquemas. Enquanto a Situação 1 apresentava uma base intuitiva frágil, devido à ausência de invariantes científicos, a Situação 3 promoveu a erradicação completa do Nível 1, pois, 89,5% da turma se enquadrou nos níveis de integração e sistema (N3 e N4). Este avanço qualitativo confirma que a situação é a fonte do sentido para o conceito, permitindo que estudantes que anteriormente admitiam "chutar" respostas, como A3 e A10, passassem a fundamentar suas ações em dados empíricos estáveis.

O aumento da frequência de estudantes no Nível 4 — de 0% nos conhecimentos prévios para 36,8% na etapa prática — pode indicar um avanço na mobilização de esquemas mais complexos. Esse resultado sugere uma possível contribuição da sequência didática para a estabilização de invariantes operatórios mais elaborados, ainda que tal interpretação deva ser considerada com cautela. Estudantes como A1, A9, A16, A19, A24 e A28 demonstraram o que

a literatura define como reconciliação integradora, sendo capazes de coordenar dimensões geográficas (Dourados), físicas (geometria) e econômicas (rentabilidade) em suas justificativas. Como aponta Campelo (2019), o domínio de um campo conceitual complexo como o efeito fotovoltaico exige que o aprendiz deixe de ver o painel como uma "caixa preta" e passe a operá-lo com autonomia técnica. A transição observada nesses alunos valida a tese de Vergnaud de que o conhecimento se desenvolve à medida que o indivíduo estabelece relações e conceitualiza situações que exigem o domínio de diferentes propriedades de um mesmo conceito.

Um marco fundamental da Situação 3 foi a ruptura definitiva com o "obstáculo térmico", o teorema-em-ação falso de que o calor gera energia fotovoltaica. O conflito cognitivo gerado ao observar que a tensão cai drasticamente sob sombra parcial, mesmo com a placa quente, forçou estudantes como A26 a reorganizarem seus esquemas explicativos. De acordo com Lameu (2014), a apropriação de todas as propriedades de um conceito é um processo de muito fôlego, o que justifica a manutenção de resíduos do Nível 2 em alunos como A2 e A7, que ainda tratam o fenômeno sem explicitar plenamente o nexo causal microscópico. Em síntese, a Situação 3 validou a sequência didática como promotora de alfabetização científica, movendo a maioria da turma de percepções superficiais para invariantes operatórios estáveis e transferíveis para a realidade local.

6.4.1.4. Situação 4 – Relatório final

A Situação 4 (S4), correspondente ao Relatório Final e a forma predicativa do conhecimento, representa o momento de síntese e explicitação do conhecimento científico adquirido ao longo da sequência didática. Sob o referencial da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud, esta etapa é fundamental para a transição da forma operatória (saber agir em situação) para a forma predicativa (saber dizer e explicar as propriedades do objeto). Ao revisitarem suas percepções iniciais e confrontarem-nas com os resultados da prática experimental, os estudantes realizam um exercício metacognitivo que permite tornar explícitos os invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) que agora estruturam seu pensamento no campo da energia solar. Conforme postulado por Vergnaud, o conhecimento formal é manifestado explicitamente, cuja base mais profunda é composta por conhecimentos implícitos; no relatório final, busca-se avaliar se essa base submersa foi reorganizada em direção ao modelo científico. No quadro 19, apresenta o desenvolvimento cognitivo e invariante durante a situação 4.

Quadro 19: Desenvolvimento Cognitivo e Invariantes na Situação 4 (Síntese Final)

Estudante	**Nível Final**	**Trecho de reposta (Relatório Final)**	**Justificativa do Invariante Operatório (IO)**
A1	N4	*"Escolheria o Norte... recomendado para a cidade de Dourados, trazendo rentabilidade."*	Sistêmico: Integra geografia local e rentabilidade econômica à regra de ação física.
A2	N2	*"Aprende mais coisa quando é prático."*	Estabilização: O IO permaneceu focado na percepção imediata (visor), tratando o painel como "caixa preta".
A3	N3	*"Material projetado para captar luz em um nível de frequência específica."*	Ruptura: Superou o nível intuitivo ao incorporar a seletividade espectral do silício.
A4	N3	*"Influência da posição e do ângulo na tensão gerada."*	Ampliação: O esquema de ação passou a coordenar a geometria de incidência como motor da geração.
A5	N3	*"Meu grupo respondeu boa parte... alguns eram difíceis."*	Estabilização: Consolidou conceitos de radiação e eficiência de forma funcional no grupo.
A6	N3	*"Inclinação adequada com o melhor funcionamento."*	Ampliação: Evoluiu na organização do esquema ao coordenar ângulo e eficiência máxima.
A7	N2	*"A aula técnica serviu de aprendizado prático."*	Resistência: Mantém esquema macroscópico térmico-causal; identifica a luz sem nexo microfísico.
A9	N4	*"O norte tem uma inclinação adequada... instalaria a 30°."*	Ampliação: Integra trajetória solar com a redução de perdas físicas no sistema.
A10	N4	*"Justificou a escolha pela 'tensão máxima no Norte' para garantir eficácia."*	Salto: Substituiu o "chute" (S1) por um IO sólido baseado na fundamentação técnica medida.
A11	N3	*"Entender o ângulo como fator de 'lucro'."*	Ampliação: Incorporou a rentabilidade econômica ao esquema de instalação física.

A12	N3	*"Focou na localização geográfica para evitar perdas."*	Ajuste: Transpôs o cálculo teórico para a aplicação geográfica real no contexto local.
A14	N3	*"Reconheceu a queda de tensão por sombras ou direção inadequada."*	Modificado: Evoluiu para a identificação de barreiras físicas como obstáculos à operacionalidade.
A16	N4	*"Conteúdo profundo e detalhado ao articular perdas ópticas."*	Sistematização: Articula microfísica e parâmetros técnicos de forma coordenada e estável.
A19	N4	*"Valorizou o azimute como motor da rentabilidade."*	Estabilização: Vinculou a posição espacial do painel ao rendimento financeiro do projeto.
A24	N4	*"Conectou a microfísica (gap) ao ângulo ideal para a cidade."*	Ruptura: Abandona o modelo térmico inicial pelo modelo quântico de bandas e geometria.
A25	N3	*"Espelhos podem ajudar ou atrapalhar dependendo da incidência."*	Refinamento: O IO agora reconhece limites de proteção e proteção do sistema.
A26	N3	*"Notou que a tensão cai na sombra mesmo se a placa estiver quente."*	Modificado: Diferenciou radiação de calor via conflito cognitivo na ação prática.
A28	N4	*"Conversão dependente da excitação eletrônica e trajetória solar."*	Consolidação: Descreveu a geração como processo dependente da microfísica e geometria.
A30	N3	*"Questionário revelou o seu potencial ao entender a geração prática."*	Modificado: Ingressou no campo ao transformar percepções vagas em invariantes científicos.

Fonte: Elaboração própria, 2026.

O quadro 20 quantifica a migração dos estudantes entre os níveis de complexidade cognitiva ao longo de toda a sequência didática, evidenciando o impacto cumulativo das intervenções.

Quadro 20 – Comparação quantitativa entre os níveis cognitivos atingidos nas S1, S2, S3 e S4.

Nível de Conceitualização	**S1 (C. Prévios)**	**S2 (Conceit.)**	**S3 (Prática)**	**S4 (R. Final)**	**Variação (S4 vs S1)**
Nível 1 (Intuitivo)	4 (21,1%)	1 (5,3%)	0 (0%)	0 (0,0%)	-100%
Nível 2 (Diferenciação)	11 (57,9%)	11 (57,9%)	2 (10,5%)	2 (10,5%)	-81,8%
Nível 3 (Integração)	4 (21,1%)	4 (21,1%)	10 (52,6%)	10 (52,6%)	+150%
Nível 4 (Sistêmico)	0 (0,0%)	3 (15,8%)	7 (36,9%)	7 (36,9%)	Inédito

A análise longitudinal da Sequência Didática (SD) revela um panorama dinâmico de reconstrução de esquemas, onde 89,5% da amostra atingiu os níveis superiores de integração e sistema ao final do percurso. A sequência cumpriu plenamente seu papel de alfabetização científica ao erradicar o Nível 1, indicando que todos os estudantes abandonaram as concepções iniciais em favor de invariantes operatórios minimamente estruturados para analisar o fenômeno fotovoltaico. A Situação 4 consolidou a transição da forma operatória para a forma predicativa, permitindo que conhecimentos implícitos emergissem em justificativas técnicas coerentes. Conforme postula Vergnaud (1990), o domínio de um campo conceitual é um processo de "muito fôlego", e os resultados demonstram que a variação sistemática de situações — do levantamento dos conhecimentos prévios ao relatório final — foi o motor necessário para que o conhecimento deixasse de ser uma observação superficial para tornar-se uma ferramenta de ação no mundo real.

Estudantes que atingiram o Nível 4 (Elite Sistêmica), como A1, A10 e A24, demonstraram o que a literatura define como reconciliação integradora, sendo capazes de coordenar dimensões geográficas (localização de Dourados), físicas (gap de energia e geometria de incidência) e econômicas (rentabilidade) em uma estrutura estável e transferível. Campelo (2019) reforça que o domínio deste campo exige que o aluno deixe de perceber o painel solar como uma "caixa preta" e passe a descrever a interação fóton-matéria de forma coordenada, integrando o nível microfísico ao macroscópico, o que foi observado nas justificativas de A24 e A28. Por outro lado, a manutenção de 10,5% da turma no Nível 2 evidencia a resiliência do obstáculo térmico (confusão entre calor e radiação), onde conhecimentos prévios enraizados funcionam como uma base estável que resiste à mudança, tratando o sistema apenas sob a óptica climática superficial. Como apontado por Lameu (2014), a apropriação de todas as propriedades de um

conceito demanda tempo e maturidade, o que explica por que alguns esquemas permanecem restritos a subcampos mais acessíveis enquanto outros atingem a integração plena.

A eficácia do percurso metodológico é validada pelo fato de que a situação experimental (S3) serviu como o evento de ruptura definitiva, desestabilizando teoremas-em-ação falsos e fornecendo os significados para os significantes introduzidos na teoria. Pesquisas como a de Rocha e Catarino (2020) e Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) corroboram que situar o aluno como sujeito-em-ação diante de dados empíricos (multímetro) é o que permite a tomada de consciência necessária para a reorganização cognitiva. Em suma, a trajetória final prova que a SD permitiu aos estudantes transformarem percepções do senso comum em um sistema explicativo cientificamente operante, consolidando uma compreensão sistêmica que une a física teórica às demandas sociotécnicas reais de sua localidade.

A fim de analisar a evolução conceitual dos estudantes ao longo das diferentes etapas da Sequência Didática, foi elaborado o Quadro 21, que apresenta o acompanhamento longitudinal dos níveis de conceitualização (S1 a S4) para cada participante. Esse quadro permite identificar não apenas a progressão nos níveis cognitivos, mas também o tipo de transformação ocorrida nos esquemas dos estudantes, classificados como permanência, modificação ou ampliação, à luz da Teoria dos Campos Conceituais.

Quadro 21 – Evolução Longitudinal de Conceitualização (S1 a S4)

Estudante	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**Status TCC**	**Justificativa da Evolução (Invariante Operatório)**
A1	N2	N3	N4	N4	Modificado	Saiu do modelo térmico para o sistêmico-econômico.
A2	N2	N2	N2	N2	Permaneceu	IO estabilizou na percepção imediata (dado experimental).
A3	N1	N1	N3	N3	Modificado	Ruptura: Saiu da ausência de esquema para a geometria.
A4	N2	N2	N3	N3	Ampliado	Incorporou a geometria como variável real de ação.
A5	N3	N2	N3	N3	Permaneceu	Estabilização funcional precoce da relação radiação-eficiência.

A6	N2	N2	N3	N3	Ampliado	Evoluiu na coordenação inclinação-eficiência máxima.
A7	N2	N2	N2	N2	Permaneceu	Resistência do modelo térmico como base explicativa.
A9	N2	N2	N4	N4	Ampliado	Integração de teoremas geográficos com a física técnica.
A10	N1	N3	N4	N4	Modificado	Salto cognitivo: do chute para a regra da tensão máxima.
A11	N2	N2	N3	N3	Ampliado	Incorporação da rentabilidade ao esquema de instalação.
A12	N3	N4	N3	N3	Permaneceu	Transpôs o cálculo teórico para a aplicação geográfica real.
A14	N1	N2	N3	N3	Modificado	Do silêncio para a identificação de barreiras físicas.
A16	N3	N4	N4	N4	Ampliado	Sistematizou o conhecimento via microfísica e perdas.
A19	N2	N2	N4	N4	Ampliado	Consolidou o nexo azimute-rendimento econômico.
A24	N2	N4	N4	N4	Modificado	Ruptura total com o "calor" pelo gap e geometria.
A25	N2	N2	N3	N3	Ampliado	Refinou o esquema de proteção e limites de incidência.
A26	N2	N2	N3	N3	Modificado	Diferenciou radiação de calor via conflito na prática.
A28	N3	N3	N4	N4	Ampliado	Consolidação total do processo de conversão eletrônica.
A30	N1	N3	N3	N3	Modificado	Ingressou no campo ao entender o potencial prático.

O encerramento da sequência didática comprova que a variação sistemática de situações permitiu a progressiva reconstrução dos esquemas dos estudantes, validando a abordagem da Teoria dos Campos Conceituais para o ensino de temas complexos como a Energia Fotovoltaica. A análise longitudinal, demonstra que o conhecimento não é um ganho cumulativo linear

de informações, mas um processo de reorganização estrutural onde novos objetos (fótons, gap, azimute) tornam-se categorias pertinentes para a ação. A ruptura com os teoremas-em-ação falsos (modelo térmico) e a migração maciça para os níveis de integração sistêmica (N3 e N4) validam a eficácia dos materiais didáticos e da mediação docente em promover a alfabetização científica. Ao final, os discentes deixaram de tratar a energia solar como um fenômeno isolado e macroscópico, passando a dominá-lo como uma ferramenta técnica e sustentável integrada à sua realidade local.

6.4.2. Análise das situações

A utilização de situações diversificadas no processo de ensino-aprendizagem fundamenta-se na premissa de que um conceito não se forma a partir de um único tipo de situação, exigindo uma variedade de contextos para que o estudante possa testar, transformar e enriquecer seus modelos explicativos. Na Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud, o desenvolvimento cognitivo é um percurso histórico e progressivo, no qual o domínio de um campo exige tempo e a confrontação com tarefas de níveis variados de complexidade.

Conforme destaca Moreira (2002), a TCC permite investigar o funcionamento cognitivo do sujeito-em-situação, mapeando como os aprendizes organizam seus esquemas de ação frente aos desafios propostos. Ao submeter os aprendizes a diferentes situações (S), o professor atua como mediador na construção de novos invariantes operatórios (IO), permitindo a transição da forma operatória (saber agir) para a forma predicativa (saber dizer) do conhecimento.

Abaixo, detalha-se a análise das situações potenciais utilizadas na sequência didática sob a ótica da TCC.

6.4.2.1. Levantamento de conhecimentos Prévios (Questionário)

Esta etapa constitui a "porta de entrada" do campo conceitual, tendo como objetivo identificar os esquemas iniciais e os invariantes operatórios precursores dos estudantes. Na perspectiva de Vergnaud (1990), as manifestações iniciais são parte perceptíveis do cognitivo, sustentada por uma base submersa de conhecimentos implícitos que dirigem a conduta. A análise revelou que a maioria dos alunos operava sob um obstáculo epistemológico térmico, associando a geração solar diretamente ao calor. Como aponta Moreira (2002), o mapeamento desses conhecimentos prévios é essencial, pois eles funcionam como gatilhos ou barreiras para a construção do saber científico. Estudos como o de Lameu (2014) reforçam que identificar o que o aluno traz "em ato" permite ao professor planejar rupturas conscientes com ideias inadequadas.

6.4.2.2. Situação Mobilizadora (Jogo Kahoot)

O uso do jogo funcionou como uma situação interativa e motivadora que explora princípios da Teoria dos Jogos, exigindo um nível maior de complexidade cognitiva e coordenação rápida de invariantes. Segundo Vergnaud (2019), situações que envolvem interatividade e feedback imediato favorecem a racionalidade e a tomada de consciência. O jogo permitiu aos estudantes explicitarem seus conhecimentos implícitos sob a pressão do tempo, funcionando como um motor para que os invariantes operatórios emergissem como representações simbólicas (R) claras. Resultados semelhantes foram observados por Nicolete et al. (2021), onde recursos tecnológicos engajaram os alunos no desenho de situações de ensino mais aceitas e usáveis.

6.4.2.3. Aula Conceitual (Slides, Questionário e Fichamento)

Nesta fase de organização do conhecimento, foram introduzidos novos elementos estruturantes (fóton, *gap* de energia) que operam como novos conceitos-em-ação. O material visual e textual forneceu as representações simbólicas (R) necessárias para descrever a microfísica do sistema. De acordo com Moreira (2018), é um erro ensinar sem situações que tenham sentido, e a carga teórica, embora densa, foi reconhecida pelos alunos como necessária para a posterior aplicação. O uso de diferentes mídias (fichamentos e textos) auxilia na estruturação de um campo de conceitos, como verificado na dissertação de Mothé Faria (2024) sobre a estrutura da matéria.

6.4.2.4. Ação da lembrança estimulada (Post-it após dois meses)

Respeitando a premissa de Vergnaud (2013) de que o domínio de um campo conceitual ocorre de maneira lenta e gradual, esta retomada foi crucial para observar a maturação dos esquemas. A TCC defende que a apropriação de todas as propriedades de um conceito é um processo de muito fôlego, estendendo-se no tempo. A recuperação de esquemas após um intervalo permitiu verificar se os invariantes científicos haviam se tornado funcionais ou se o senso comum persistia, respeitando o caráter histórico da aprendizagem.

6.4.2.5. Prática Experimental (Confronto e Ruptura)

A atividade experimental com o kit fotovoltaico representou a confrontação indispensável com o real. Ao manipular as variáveis (ângulo e sombra), o estudante atuou como um sujeito-

em-ação, testando seus teoremas-em-ação frente ao dado empírico. Esta situação gerou a ruptura necessária com o modelo térmico: a queda rápida da tensão na sombra provou que a luz, e não o calor residual, era o motor da geração. Conforme Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008), a grande contribuição da TCC reside nessa preocupação com o sujeito enfrentando problemas reais que conferem operacionalidade aos conceitos. A dissertação de Campelo (2019) sobre o efeito fotovoltaico corrobora que a abordagem experimental é o pilar para a superação de dificuldades conceituais profundas.

6.4.2.6. Palestra Técnica (Contexto Socioténico Real)

A palestra expandiu o campo conceitual para a forma predicativa do conhecimento profissional, integrando termos como "inversores" e "rentabilidade". Esta situação permitiu a integração de subcampos (física, geografia e economia), movendo o aluno rumo a uma estrutura sistêmica. De acordo com Moreira (2002), um campo conceitual é um conjunto de conceitos interconectados, e ouvir um especialista ajuda a dar sentido às situações vivenciadas fora do ambiente escolar tradicional.

6.4.2.7. Relatório Final

O relatório final avaliou a explicitação do conhecimento científico. Na TCC, isso marca a transição onde o aluno deixa de apenas "saber fazer" e passa a "saber dizer", sistematizando as relações entre os objetos e suas propriedades. Conforme afirmam Moreira (2002) e Vergnaud (1990), o sucesso da sequência é evidenciado quando o aprendiz substitui esquemas lineares por uma estrutura sistêmica estável, capaz de fundamentar decisões técnicas reais. O registro escrito, como discutido por Rocha e Catarino (2020), é fundamental para que o professor perceba a evolução temporal do conhecimento dos alunos.

Em suma, a variação sistemática de situações garantiu que o conceito fosse trabalhado sob diferentes propriedades e contextos, validando o produto educacional como uma ferramenta eficaz para a alfabetização científica e autonomia intelectual.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou enfrentar o desafio da passividade cognitiva e do desinteresse no ensino de Física ao verificar se a aplicação da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), por meio de situações contextualizadas sobre energia solar fotovoltaica, poderia promover o engajamento dos estudantes. O problema central de pesquisa foi amarrado à necessidade de superar abordagens tradicionais centradas na memorização, utilizando a relevância social, econômica e ambiental do tema para aproximar o conhecimento científico da realidade dos alunos. A investigação identificou que o êxito da implementação reside na capacidade das situações didáticas em desestabilizar o senso comum, enquanto as principais dificuldades estão relacionadas à gestão do tempo e à complexidade dos modelos microscópicos envolvidos.

O objetivo geral de desenvolver e aplicar um produto educacional no formato de uma Sequência Didática (SD) fundamentada na TCC foi plenamente atingido, evidenciando o potencial da teoria no desenvolvimento do conhecimento científico. A SD funcionou como um percurso de conceitualização progressiva, garantindo que o tema não fosse tratado como um conceito isolado, mas como um campo complexo que exige a coordenação de múltiplos invariantes. Os objetivos específicos de analisar a TCC como referencial metodológico e mapear o desenvolvimento dos invariantes operatórios (I) foram concretizados através da análise longitudinal, que revelou a migração dos estudantes de esquemas intuitivos para níveis de integração e sistema. A geração de situações potenciais de aprendizagem (S) atuou como indutor de significação, permitindo que a ação física com o multímetro e as placas desse sentido prático aos conceitos teóricos de irradiância e efeito fotovoltaico.

A transição da forma operatória para a forma predicativa do conhecimento foi um dos pontos altos dos resultados, incentivando os estudantes a explicitarem e justificarem seus esquemas de ação por meio da linguagem natural e representações simbólicas (R). Ao final, alunos que anteriormente "chutavam" respostas foram capazes de fundamentar suas escolhas técnicas baseando-se na tensão máxima e na geometria de incidência. Além disso, a conexão com o contexto profissional real e com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS 7) aproximou o saber escolar da prática da engenharia, consolidando a autonomia técnica dos discentes diante de problemas reais da sua localidade, como o cenário de Dourados-MS.

Durante a execução da SD, um fator importante de reflexão pedagógica foi o gerenciamento das aulas de conceitualização. Embora a proposta inicial previsse duas aulas para esta etapa, foram utilizadas três, e a percepção da professora pesquisadora indica que o ideal seriam quatro

aulas divididas em dois encontros. Esse ajuste é coerente com os pressupostos de Vergnaud, que defende que a apropriação de todas as propriedades de um conceito é um processo de "muito fôlego" e que o tempo de aprendizagem nem sempre coincide com o tempo cronológico do ensino. A ampliação do tempo de exposição e a recursividade das situações são essenciais para que os novos conceitos sejam assimilados e reorganizados de forma estável na estrutura cognitiva.

Um resultado de grande valor social e pedagógico, não exposto nas tabelas quantitativas gerais, foi o trabalho realizado com dois estudantes do público da educação especial. Mediante adaptações simples de mediação, o envolvimento desses alunos em atividades diferenciadas, como o jogo Kahoot e a prática experimental, demonstrou o poder inclusivo da TCC. Conforme o relato da professora de apoio, o relatório final preenchido por eles evidenciou uma ruptura significativa com o senso comum; um dos alunos chegou a afirmar categoricamente que a geração solar provém da luz e não do calor. Esse achado corrobora a tese de que, ao colocar o estudante como um sujeito-em-ação, as barreiras da aprendizagem mecânica são rompidas, permitindo que o conhecimento científico se torne acessível e funcional para todos os perfis de aprendizes.

Como sugestões para trabalhos futuros, este estudo recomenda a adaptação formal do produto educacional para aplicação sistemática com estudantes da educação especial, explorando o potencial das representações pictóricas e da mediação sociocognitiva. Outra perspectiva promissora e árdua, seria a aplicação comparativa de Sequências Didáticas entre turmas de 7º ano do Ensino Fundamental e do 2º ano do Ensino Médio. Tal investigação permitiria verificar um dos pontos centrais da TCC: o desenvolvimento do conhecimento ao longo do tempo e como diferentes níveis de maturidade e experiência influenciam a formação de um mesmo campo conceitual.

Em última análise, esta dissertação argumenta que o valor do conhecimento produzido reside na humanização do ensino de Física, transformando a sala de aula em um ambiente de construção ativa onde a teoria, a prática e a diversificação caminham juntas na formação de cidadãos cientificamente alfabetizados. O valor da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) para o ensino de Física manifesta-se, primordialmente, em sua capacidade de fornecer um alicerce sólido para que o professor compreenda como o estudante de fato conceitualiza o real, permitindo que o foco saia da mera memorização de fórmulas matemáticas e se desloque para o desenvolvimento de competências complexas. Ao adotar essa teoria, o docente passa a enxergar o estudante como

um sujeito-em-ação, cujos erros e dificuldades não são falhas, mas hipóteses incompletas que sinalizam a necessidade de mediação para transformar conhecimentos implícitos em conceitos e teoremas científicos explícitos. A TCC permite que a Física seja ensinada de forma desenvolvimentista, respeitando o tempo necessário para a apropriação de propriedades conceituais que o formalismo matemático muitas vezes oculta.

A construção de situações diferenciadas é o motor desse processo, pois a teoria de Vergnaud pressupõe que um conceito não se forma a partir de uma única situação, exigindo-se uma variedade de tarefas para que o estudante consiga testar seus modelos explicativos e estabelecer conexões entre o saber escolar e a realidade. Ao diversificar as estratégias (utilizando jogos interativos, experimentos de baixo custo), o professor cria um ambiente rico em desafios que estimulam o protagonismo discente e provocam o conflito cognitivo necessário para a ruptura com o senso comum. Situações potencialmente significativas são aquelas que motivam o aluno a agir sobre o material e refletir sobre os resultados, transformando o "esboço no papel" em algo marcante e visível.

Esta abordagem investigativa permite que a Física resgate seu espírito questionador, fomentando o desejo genuíno de conhecer o mundo e expandindo a compreensão da realidade para além da mera aplicação pragmática de modelos idealizados. O valor pedagógico central desta proposta reside em não oferecer ao estudante apenas respostas prontas ou procedimentos mecanizados, mas sim a oportunidade real de se tornar o arquiteto de seu próprio saber, desenvolvendo competências de argumentação, reflexão e criticidade que ultrapassam as fronteiras técnicas da sala de aula.

Dessa forma, a aplicação da Teoria dos Campos Conceituais, sustentada pela construção de situações diversificadas, consolida uma prática docente mediadora e profundamente humanizada. Ao deslocar o foco da memorização para a conceitualização progressiva, o professor torna-se capaz de reconhecer em cada educando um ser humano integral, dotado de conhecimentos, experiências, anseios e sonhos próprios. Este alinhamento entre teoria e prática pedagógica resulta em uma educação científica que verdadeiramente transforma realidades, promovendo a autonomia do sujeito e preparando-o para o exercício consciente e pleno da cidadania em seu contexto social.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Ramón Vieira. **Implementação de metodologias ativas**: aprendizagem baseada em projetos em aulas de física sobre acústica no ensino médio à luz dos campos conceituais. 2019. 106 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, 2019

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. **Oficina temática: uma proposta metodológica para o ensino do modelo atômico de Bohr.** Ciência & Educação, 20(02), 481-495, 2018.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br. Acesso em: 10 fev. 2025.

BRUN, J. (Org.). **Didáctica das matemáticas**. Tradução: Maria José Figueiredo. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

CAMPELO, D. Sequência de ensino investigativa para o estudo do efeito fotovoltaico em uma abordagem experimental na perspectiva da Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud. 2019. 120 f. **Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física**) – Instituto de Física, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

CARVALHO JÚNIOR, G. D.; AGUIAR JUNIOR, O. G. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** v. 25, n. 2, p. 207-227, ago. 2008.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). **Ensino de Ciências por Investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CHEPP, Ellen David; GASPARIN, Fabiano Perin; KRENZINGER, Arno. Análise do sombreamento parcial de um sistema fotovoltaico urbano. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 13, n. 1, p. 73-82, 2022.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar**: Princípios e Aplicações. Rio de Janeiro: CEPEL, 2006.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar**: Princípios e Aplicações. Rio de Janeiro: CEPEL, 2018.

CRUZ JUNIOR, Antônio Carlos; SOLTAU, Samuel Bueno. Produção e consumo de energia elétrica fotovoltaica: um aplicativo destinado ao ensino de Física e ao debate sobre a matriz energética. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 15, e279101522946, 2021.

CUNHA, K. M. A.; FERREIRA, J. Q.; FERREIRA, L. N. de A**.** Esquemas de ação e níveis de cognição de licenciandos em química sobre atomismo. **Vidya**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 269-290, jan./jun. 2025.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A.; BLAIR, N. Solar Engineering of Thermal Processes, **Photovoltaics and Wind**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 2020. p. 876, 897, 903, 913.

EINSTEIN, Albert. Uber einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes Betreffenden Heuristischen Gesichtspunkt. **Collected Papers of Albert Einstein**, v. 2, p. 150-166, 1989.

EISBERG, H.; RESNICK, R. Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. 10. reimpr. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional(BEN): relatório síntese 2025**. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025. Acesso em: 25 Jun. 2025.

FARIA, Manueli Aparecida Agapito Mothé. **Abordagem investigativa com ênfase na história da ciência para a aprendizagem de estrutura da matéria**. 2024. 235 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2024.

FEYNMAN, R. P. **Lições de Física de Feynman**. Porto Alegre: Bookman, 2008. p. 526, 529, 939.

FLICK, Uwe. **Introdução à metodologia de pesquisa**: um guia para iniciantes. Tradução: Magda Lopes. Porto Alegre: Penso, 2013.

FRANÇA, Samira Cassote Grandi. **Estratégias de ensino metacognitivas como instrumento para trabalhar os invariantes operatórios sobre o conceito de calor no ensino médio**. 2023. 242 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2023.

GARIBOTTI, Cristiano Rodrigues. **A teoria dos campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o mapeamento do campo conceitual do Cálculo**: um estudo dos conhecimentos matemáticos de alunos ingressantes nos cursos de Engenharias Agroindustriais. 2019. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Instituto de Matemática, Estatística e Física, Universidade Federal do Rio Grande, Santo Antônio da Patrulha, 2019.

GOMES, L. C. O conceito de calor: uma análise histórica e suas implicações para o ensino de física. 2012. **Tese (Doutorado)** – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica.** 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HEUSY, Felype; GAULKE, Angela Mary; ROCHA, Carlos Raphael**.** Uma visão geral dos recentes trabalhos realizados sobre a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. **Revista Ciências & Ideias**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 155-180, jan./mar. 2022.

IRINEU, Jorge Emanuel de Oliveira; ROBERTO JUNIOR, Artur Justiniano; OLIVEIRA, Antonio José Silva; OLIVEIRA, Clóvis Bôsco Mendonça. Astronomy as a Tool for Learning the laws of Physics: Theory of Conceptual fields by Vergnaud. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)**, [s. l.], v. 9, n. 7, jul. 2022. DOI: https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.97.5.

LAMEU, L. de P. Efeito fotoelétrico no ensino fundamental: uma proposta à luz da teoria dos campos conceituais. 2014. 141 f. **Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) –** Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014

LIMA, M. S.; SANTOS, J. V. C. **A teoria dos campos conceituais e o ensino de cálculo**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2015.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli. **Pesquisa em educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

LUQUE, Antonio; HEGEDUS, Steven (Ed.). **Handbook of photovoltaic science and engineering**. John Wiley & Sons, 2011.

MAHON, José Roberto Pinheiro. **Mecânica quântica: desenvolvimento contemporâneo com aplicações**. Grupo Gen-LTC, 2000.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Educação. **Currículo de Referência de Mato Grosso do Sul: Ensino Médio e Novo Ensino Médio.** Organizadores: Helio Queiroz Daher; Davi de Oliveira Santos; Marcia Proescholdt Wilhelms. Campo Grande: SED, 2021. 375 p. (Série Currículo de Referência; 2). ISBN 978-65-88366-05-9. Disponível em: https://www.sed.ms.gov.br/wp-content/uploads/2022/01/Curriculo-Novo-Ensino-Medio-v1.1.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025

MEIRELES, Emmely Ketlem Rosas; MEIRELES, Evelym Chaves; SILVA, Lúcio Fábio Pereira da**.** Reflexões sobre a Teoria dos Campos Conceituais no Ensino de Física. **Caderno de Física da UEFS**, Feira de Santana, v. 21, n. 2, p. 2101.1-13, 2023.

MENEZES, Luiz Henrique da Costa; SOARES, Márcio Rodrigo. Uma sequência didática baseada na energia solar fotovoltaica e nos três momentos pedagógicos como facilitadora no ensino de física moderna. **Revista Exitus**, Santarém, v. 13, p. 1-25, 2023.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. ampl. São Paulo: EPU, 2011. 242 p.

MOREIRA, Marco Antonio. **A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área**. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 1, p. 7-29, 2002. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/cref/pub_edu_fis/vol7_num1/Art1_v7_n1.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhqLy/. Acesso em: 10 nov. 2024.

NICOLETE, P. C.; SANTOS, A. C.; TAROUCO, L. M. R.; SILVA, M. A. M. Teoria dos campos conceituais como instrumento para o planejamento e construção de recursos tecnológicos para o ensino de ciências. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 16, n. 4, p. 2560-2577, out./dez. 2021. DOI: https://doi.org/10.21723/riaee.v16i4.13435.

PACHECO, Mayara Hilgert; ZANELLA, Marli Schmitt. Identificação de Teoremas em Ação no ensino de Astronomia nos anos iniciais. **Revista Prática Docente**, v. 6, n. 2, e071, 2021.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas brasileiro de energia solar. 2. ed. São José dos Campos: INPE**, 2017. 80 p. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: 14 ago. 2022.

PLAISANCE, E.; VERGNAUD, G. **As ciências da educação**. Tradução de Nadyr de Salles Penteado e Odila Aparecida de Queiroz. São Paulo: Loyola, 2003.

REIS, L. B. **Geração de energia elétrica. 2.** ed. Barueri: Manole, 2011.

RIBEIRO, Gyulianna Pinheiro. **Aplicação de uma sequência de ensino investigativa usando a Teoria de Campos Conceituais para o estudo das Leis de Kepler no Ensino Médio**. 2020. 209 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2020..

ROCHA, J. S.; CATARINO, G. F. C. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud: uma análise da conceitualização em atividades experimentais de Física. **RCEF: Revista Ciência em Foco**, Campinas, v. 13, e020018, p. 1-20, 2020.

SANTOS, Benilson da Silva et al. Ensino de Física e Sustentabilidade: Energia Solar - Produção, Consumo e Potência como fonte alternativa na produção de energia renovável. **RCT – Revista de ciência e tecnologia**, v. 6, 2020.

SERWAY, R. A.; JEWETT JUNIOR, J. W. Princípios de Física: Mecânica Clássica. v. 1. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005. p.537, 667, 972.

SOUSA, C. M. S. G.; FÁVERO, M. H. Análise de uma situação de resolução de problemas de Física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 55-75, 2002

SUART, R.; MARCONDES, M. E. R. A manifestação de habilidades cognitivas em atividades experimentais investigativas no ensino médio de química. **Ciências & Cognição**, [*s. l.*], v. 14, n. 1, p. 50-74, 2009.

SWART, Jacobus Willibrordus**. Semicondutores**: Fundamentos, Técnicas e Aplicações. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008.

TERRA, Idelma Aparecida Alves. **Investigação espectroscópica e estudo dos processos de conversão de energia em vidros e nano-cristais co-dopados com íons Tb3+ e Yb3+**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. Física para cientistas e engenheiros: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

VERGANAUD, G. (1982). **A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems**. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (1982). Addition and subtraction. A cognitive perspective. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 39-59.

Vergnaud, G. (2016). FORME OPERATOIRE ET FORME PREDICATIVE DE LA CONNAISSANCE. **Investigações Em Ensino De Ciências,** *17*(2), 287-304. https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/187

VERGNAUD, G. ¿En qué sentido la teoria de los campos conceptuales pode ajudarnos para facilitar aprendizaje significativo? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 285-302, 2007.

VERGNAUD, G. A criança, a matemática e a realidade: problemas do ensino da matemática na escola elementar. Tradução de Maria Lucia Faria Moro. Curitiba: Ed. da UFPR, 2014.

VERGNAUD, G. A Teoria dos Campos Conceituais. *In*: BRUN, J. (org.). **Didáctica das matemáticas**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996b. p. 155-191

VERGNAUD, G. A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. **Revista do GEMPA**, Porto Alegre, n. 4, p. 9-19, 1996a

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VERGNAUD, G. O que é aprender? Por que a teoria dos campos conceituais? In: GROSSI, E. P. (Org.). **O que é aprender? O Iceberg da Contextualização.** Porto Alegre: GEEMPA, 2017b. (Coleção Teoria dos Campos Conceituais).

VERGNAUD, G. Teoria dos campos conceituais. *In*: **Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro**, 1., 1993, Rio de Janeiro. Anais [...] Rio de Janeiro: Nasser, 1993. p. 1-26.

VERGNAUD, G. The theory of conceptual fields. **Human Development**, v. 52, n. 2, p. 83-94, 2009.

VERGNAUD, Gérard. **A comprehensive theory of representation for mathematics education**. *Journal of Mathematical Behavior*, v. 17, n. 2, p. 167–181, 1998.

VERGNAUD, Gérard. A didática é uma provocação: ela é um desafio. **Piaget e Vygotsky em Gérard Vergnaud: Teoria dos Campos Conceituais TCC. Coleção Campos Conceituais. Porto Alegre: GEEMPA**, 2017a.

VERGNAUD, Gérard. Pourquoi la théorie des champs conceptuels?. **Journal for the Study of Education and Development**, v. 36, n. 2, p. 131-161, 2013.

VON SCHUCKMANN, K. *et al.* Heat stored in the Earth system: where does the energy go? **Earth System Science Data**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 2013-2041, 2020.

WEIL-BARAIS, A.; VERGNAUD, G. Students' conceptions in physics and mathematics: biases and helps. *In*: CAVERNI, J. P.; FABRE, J. M.; GONZÁLEZ, M. (ed.). **Cognitive Biases**. North Holland: Elsevier Science Publishers, 1990. p. 69-84

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I**: mecânica. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

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

ZILLES, Roberto. MACÊDO, Wilson Negrão. GALHARDO, Marcos André Barros. OLIVERIA, Sérgio Henrique Ferreira de. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Oficina de textos, São Paulo, 2012.

ZOLLER, U. Algorithmic, LOCS and HOCS (chemistry) exam questions: Performance and attitudes of college students. **International Journal of Science Education**, [*s. l.*], v. 24, n. 2, p. 185-203, 2002.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL

A seguir, apresenta-se o Produto Educacional elaborado no âmbito deste trabalho, concebido para aplicação em sala de aula por professores de Física. O material foi desenvolvido com o objetivo de subsidiar práticas pedagógicas no ensino de conteúdos relacionados à energia solar fotovoltaica, podendo ser utilizado e adaptado conforme o contexto escolar e as necessidades dos estudantes.

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

UFGD
Universidade Federal da Grande Dourados

MNPEF
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

PRODUTO EDUCACIONAL

SITUAÇÕES POTENCIAIS PARA O ENSINO SOBRE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

GABRIELA PETERSON VARGAS ROSA

2026

Autora: Gabriela Peterson Vargas Rosa

Orientador: Prof. Dr. Fábio dos Santos

Capa e produção editorial: Gabriela Peterson Vargas Rosa

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

UFGD
Universidade Federal da Grande Dourados

MNPEF
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Prefácio

Caro(a) colega professor(a),

Gabriela Peterson Vargas Rosa
Autora

Você tem em mãos um material pedagógico desenvolvido com o propósito de transformar o ensino de Física em uma experiência viva, crítica e profundamente conectada com os desafios do século XXI. Este produto educacional é o resultado de uma pesquisa translacional que buscou transpor os robustos pressupostos da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), de Gérard Vergnaud, para a realidade dinâmica da sala de aula para o ensino de Física.

O foco central aqui é a Energia Solar Fotovoltaica, um tema de urgência global e relevância social indiscutível, alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7). No entanto, mais do que ensinar um conteúdo, este guia propõe uma jornada de conceitualização e situações ricas para a aprendizagem. Este material foi estruturado para que o estudante deixe de ser um espectador passivo e se torne um sujeito-em-ação.

Ao longo das situações aqui propostas, utilizaremos uma diversidade de recursos — desde jogos interativos como o Kahoot até a prática experimental com multímetros e miniplacas fotovoltaicas — para forçar o confronto de esquemas e promover a ruptura com obstáculos epistemológicos resilientes, como a clássica confusão entre calor e radiação luminosa.

Nosso objetivo é que, ao final deste percurso, seus alunos não apenas "saibam fazer", mas alcancem a forma predicativa do conhecimento, tornando-se capazes de explicar, com linguagem científica estável, os fenômenos que governam o mundo invisível dos elétrons e fótons.

Desejo que este material seja um facilitador de descobertas e que, através dele, possamos promover uma alfabetização científica que prepare nossos jovens para serem protagonistas em suas realidades sociais.

Vamos desbravar esse campo conceitual?

Gabriela Peterson Vargas Rosa

Apresentação do Produto

Este produto educacional, intitulado *"Situações potenciais para o ensino sobre energia solar fotovoltaica"*, foi concebido como um guia flexível e adaptável para professores de Física do Ensino Médio. Ele se fundamenta no tripé conceitual de Vergnaud: Situações (S), Invariantes Operatórios (I) e Representações Simbólicas (R).

A estrutura do material foi organizada em etapas que promovem a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora dos conceitos:

- Abordagem Investigativa: O produto utiliza o conflito cognitivo como motor de aprendizagem, traduzindo fenômenos físicos em problemas interessantes e resolvíveis, com uma levantamento de conhecimentos prévios contextualizado ao real.
- Recursos Multimodais e Criativos: O produto incentiva o uso de ferramentas como jogos, miniprojetos e relatórios de síntese, que funcionam como representações simbólicas essenciais para a tomada de consciência do aprendiz.
- Confronto com o Real: A atividade prática é o ponto de ruptura. Através do uso de multímetros, os estudantes validam seus esquemas de ação frente aos dados empíricos, superando a "física espontânea" e consolidando o conhecimento científico. Além da situação de conexão com o real através de palestra.

Organização das Situações Potenciais: O produto está dividido em sequências que abrangem desde o levantamento de conhecimentos prévios (o "iceberg" da conceitualização) até a tomada de consciência final, onde o saber operatório se transforma em saber dizer.

Espero que este material auxilie na construção de uma Física mais humana, ativa e significativa, transformando a sala de aula em um ambiente de constante inovação e protagonismo discente. O material pode ser utilizado em sua totalidade, ou parte das situações adequadas a sua realidade. Faça um excelente uso desse material didático.

Sumário

Introdução 4

Teoria dos Campos Conceituais (TCC) 6

Elementos da Física 8

Sequência didática 14

Levantamento dos conhecimentos prévios 16

Situação mobilizadora (Jogo no Kahoot) 21

Conceitualização 24

Lembrança estimulada 28

Prática - Experimental 29

Palestra - Técnica 38

Relatório Final 41

Comentários finais 51

Referências 53

Apêndice A 56

Apêndice B 87

Introdução

Este produto educacional, estruturado como uma Sequência Didática (SD) para o ensino de Energia Solar Fotovoltaica, foi desenvolvido para oferecer a você, professor, uma proposta prática e fundamentada para transformar o ensino de Física em uma experiência investigativa e conectada com a realidade.

O ensino de Física na Educação Básica enfrenta, há décadas, o desafio de superar modelos tradicionais centrados na memorização mecânica de fórmulas e no formalismo matemático, o que frequentemente resulta em desinteresse e na percepção da disciplina como algo excessivamente difícil e descontextualizado. Diante desse cenário, torna-se imprescindível buscar abordagens pedagógicas que conectem o conhecimento científico à vida cotidiana e tecnológica dos estudantes. (Moreira, 2021).

Este trabalho motiva-s no hiato observado entre o avanço tecnológico do setor fotovoltaico no Brasil — que vive uma expansão histórica impulsionada por metas globais de desenvolvimento sustentável, como a ODS 7 — e a sua efetiva incorporação nas salas de aula.

Como docente e engenheira de energia, percebo a complexidade das variáveis envolvidas na geração solar, mas também a persistência da chamada "física espontânea" entre os alunos, que muitas vezes operam sob um obstáculo epistemológico térmico, confundindo calor com o fator real de geração solar.

Este material reside, portanto, na necessidade de repensar o ensino, adotando estratégias que considerem os conhecimentos prévios e favoreçam a construção ativa do saber, promovendo o interesse pela ciência e a compreensão profunda da conceitualização.

Para guiar sua prática, este guia apresenta, inicialmente, um breve referencial teórico, fundamentado na Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud. Diferente de uma simples transmissão de definições, a TCC propõe que o conhecimento se forma a partir de problemas para resolver e situações para dominar, onde o que o aluno diz é apenas a "ponta de um iceberg" sustentada por conhecimentos implícitos. Além disso, você encontrará um referencial conceitual de Física, que explora de forma acessível temas como a natureza quântica do fóton, o gap de energia em semicondutores e os princípios ópticos que influenciam a eficiência do sistema.

O núcleo deste produto é a Sequência Didática, organizada em situações potenciais que colocam o estudante como um sujeito-em-ação. O percurso inclui desde o levantamento de ideias iniciais via jogo interativo no Kahoot, passando pela conceitualização teórica e a elaboração de um miniprojeto de dimensionamento residencial, até a etapa de prática experimental com multímetros e o relatório final para a tomada de consciência do aprendizado. Esperamos que este material seja um facilitador para suas aulas, permitindo que seus alunos não apenas aprendam fórmulas, mas se tornem cidadãos cientificamente alfabetizados e capazes de intervir em sua realidade social.

Teoria dos Campos Conceituais (TCC)

Gérard Vergnaud
(1933 - 2021)

A fundamentação teórica desta proposta ancora-se na Teoria dos Campos Conceituais (TCC), desenvolvida por Gérard Vergnaud, um referencial cognitivista neopiagetiano que coloca a conceitualização do real no centro do desenvolvimento intelectual (Verganud, 1990; Moreira, 2002).

Ao ampliar e redirecionar o foco das operações lógicas gerais para o estudo do funcionamento cognitivo do sujeito-em-situação, a TCC oferece um arcabouço robusto para compreender como o estudante de fato aprende ao enfrentar tarefas e problemas específicos (Rocha; Catarino, 2020; Carvalho Júnior; Aguiar Junior, 2008).

O valor da TCC para o ensino de Física manifesta-se na compreensão de que o conhecimento científico não é uma transmissão de definições, mas um processo de construção pautado na ação do sujeito e na organização de seus esquemas (Vergnaud, 2014; Moreira, 2011). Para que um conceito se torne significativo, ele deve ser articulado através do tripleto C = (S, I, R), no qual as Situações (S) funcionam como o referente que dá sentido ao saber; os Invariantes Operatórios (I) — conceitos e teoremas-em-ação — representam a base de conhecimentos implícitos ou explícitos que guiam a conduta; e as Representações Simbólicas (R) permitem a explicitação e a organização técnica do conhecimento (Vergnaud, 1993; 2009).

Nesse sentido, a construção de situações diferenciadas e potenciais é o motor essencial para a evolução cognitiva, uma vez que a teoria pressupõe que um conceito não se forma a partir de uma única tarefa, exigindo um repertório variado de desafios para que o aprendiz possa testar, ampliar e reconstruir seus modelos explicativos (Vergnaud, 1982; 1996). Ao priorizar o enfrentamento de situações reais — como o dimensionamento fotovoltaico e a experimentação ativa —, o professor atua como mediador, provocando as rupturas necessárias com o senso comum e possibilitando a transição da forma operatória para a forma predicativa do saber, transformando o estudante em um arquiteto consciente de seu próprio conhecimento científico (Campelo, 2019; Meireles et al., 2023).

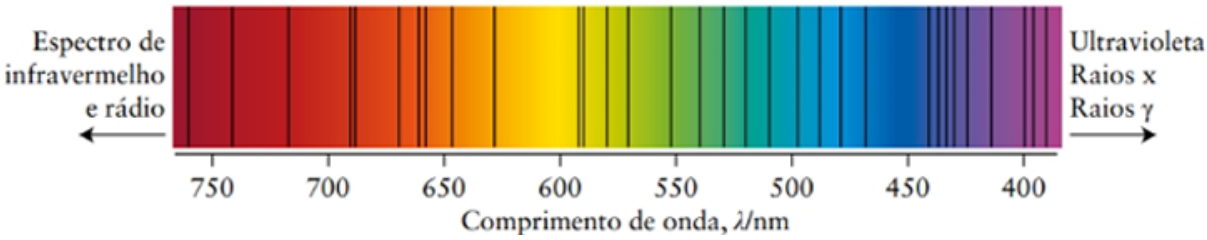
A Natureza da Luz: Fótons e Espectro Eletromagnético

A compreensão do fenômeno fotovoltaico exige a transição do modelo ondulatório clássico para o modelo quântico da radiação. A luz é descrita como tendo um comportamento dual, apresentando-se, em situações de interação com a matéria, como partículas discretas denominadas fótons. Cada fóton transporta uma quantidade fixa e quantizada de energia (E) que depende exclusivamente da frequência (f) da radiação, seguindo a relação de Planck: (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

$$E = h.\, f$$

No Espectro Eletromagnético, as radiações são organizadas por frequência e comprimento de onda. Para o silício cristalino (material base das placas), nem todas as cores de luz são úteis; a faixa espectral propícia para a geração concentra-se entre o ultravioleta e o infravermelho próximo, abrangendo comprimentos de onda de aproximadamente 300 nm a 1100 nm. A Figura 1, apresenta a distribuição da energia solar por comprimento de onda. A região de resposta mais eficiente para a célula solar de silício situa-se em torno de 1000 nm (Terra, 2013). Radiações com frequências muito baixas, como as ondas de rádio, ou situadas no infravermelho profundo (com comprimentos de onda maiores que 1100 nm), não possuem energia individual suficiente para promover a excitação eletrônica e ativar o sistema (Eisberg; Resnick, 1979; Campelo, 2019).

Figura 1 - Espectro eletromagnético



Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 8)

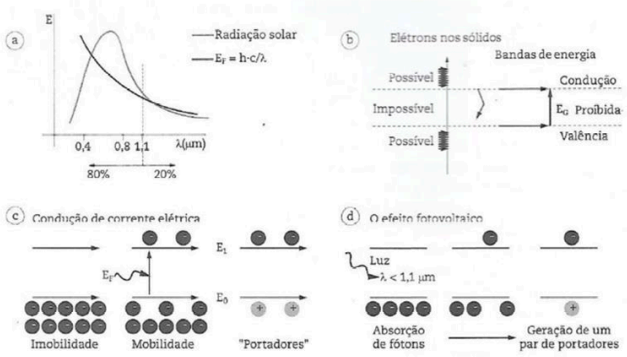
O Mecanismo do Efeito Fotovoltaico

Diferente de sistemas térmicos que utilizam o calor para gerar vapor e movimentar turbinas, o sistema fotovoltaico realiza a conversão direta da energia contida nos fótons em eletricidade (Campelo, 2019; Swart, 2008). Este fenômeno é uma característica física intrínseca de certos materiais e não envolve partes móveis ou ciclos termodinâmicos convencionais (CRESESB, 2006; Neto, 2021). O processo ocorre fundamentalmente no interior de materiais semicondutores, sendo o silício (Si) o elemento mais habitualmente utilizado na indústria devido à sua abundância e propriedades eletrônicas favoráveis (Campelo, 2019; Swart, 2008).

De acordo com a física do estado sólido, esses materiais semicondutores são caracterizados pela existência de bandas de energia (Zilles et al., 2012). Eles possuem uma banda de valência, onde os elétrons estão envolvidos em ligações químicas e permanecem ligados aos átomos, e uma banda de condução, que está inicialmente vazia e onde os elétrons podem se movimentar livremente para gerar corrente elétrica (Zilles et al., 2012). Essas duas camadas são separadas por um vazio energético denominado gap de energia ou banda proibida (E_g) (Zilles et al., 2012). No caso do silício cristalino, esse hiato energético é de aproximadamente 1,12 eV (Zilles et al., 2012).

A dinâmica microscópica inicia-se quando a radiação solar atinge a célula. A luz, comportando-se como uma corrente de partículas chamadas fótons, transfere integralmente sua energia aos elétrons da banda de valência (Campelo, 2019). Quando um fóton possui energia ($E = h.f$) igual ou superior ao gap do semicondutor, ele é absorvido e o elétron recebe um "impulso" suficiente para realizar um salto quântico em direção à banda de condução (Campelo, 2019; Zilles et al., 2012). Esse processo resulta na geração de um par elétron-lacuna: a saída do elétron deixa para trás um espaço vazio carregado positivamente na banda de valência, chamado de lacuna (Campelo, 2019). Este processo de transferência e excitação é detalhado na Figura 2, que esquematiza o salto quântico eletrônico.

Figura 2 - Diagrama de Bandas de Energia.



Fonte: Zilles et al., 2012.

Para que esses portadores de carga não se recombinem imediatamente e voltem ao seu estado original, utiliza-se a junção P-N (Campelo, 2019; Zilles et al., 2012). Esta junção é criada através da dopagem controlada do silício: uma camada (tipo N) recebe fósforo para obter excesso de elétrons, enquanto a outra (tipo P) recebe boro, gerando excesso de lacunas (Campelo, 2019; Swart, 2008). Na interface dessas camadas, estabelece-se um campo elétrico interno permanente que funciona como uma "bomba" de cargas (CRESESB, 2006; Swart, 2008). Este campo força os elétrons excitados a fluírem em uma única direção (para a camada N) e as lacunas para a direção oposta (camada P), estabelecendo uma diferença de potencial e, consequentemente, a corrente elétrica contínua quando o circuito externo é fechado (Santos et al., 2021).

Diferenciação: Efeito Fotovoltaico vs. Efeito Fotoelétrico

Embora ambos envolvam luz e elétrons, a distinção é fundamental para evitar confusões conceituais:

- **Efeito Fotoelétrico:** Consiste na ejeção de elétrons para fora da superfície de um material (vácuo ou gás). A luz "arranca" o elétron da estrutura.
- **Efeito Fotovoltaico:** Caracteriza-se pelo confinamento dos elétrons. Eles são excitados, mas permanecem dentro do material cristalino, circulando internamente para gerar eletricidade

Perdas de Eficiência e Fatores Ópticos

A conversão não é 100% eficiente devido a limites físicos e ambientais:

Mecanismos de Perda Quântica e Eletrônica (Intracélula) (Terra, 2013).

- **Perda por Termalização para a Rede:** Representa a maior parcela de perda, cerca de 47%. Ocorre quando fótons de alta energia (comprimentos de onda $\lambda<600$ nm, como UV e azul) possuem energia muito superior ao gap do silício. O elétron é excitado, mas "relaxa" rapidamente para a borda da banda de condução, liberando o excesso energético na forma de calor.
- **Perda por Transparência: Responde por 18,5% das perdas**. Acontece com fótons de baixa energia ($\lambda>1100$ nm, infravermelho longo), cuja energia é inferior ao limiar de 1,12 eV necessário para romper a ligação do silício; por isso, atravessam a célula sem interagir.

- **Perda por Recombinação Radiativa:** Ocorre quando os pares elétron-lacuna recém-gerados se anulam mutuamente antes de serem coletados pelo campo elétrico da junção. Esse processo resulta na emissão de fótons no infravermelho, reduzindo a corrente útil.
- **Perdas na Junção P-N:** Na zona de transição entre as camadas dopadas, a difusão de cargas cria uma região de depleção que estabelece uma barreira ao movimento. Se o equilíbrio não for mantido pela incidência contínua de radiação, o fluxo de *corrente pode cessar.*

Fatores Ópticos e Ambientais (Externos)

- **Reflexão:** Parte da radiação atinge a superfície do vidro ou contatos metálicos e retorna ao meio externo sem entrar no semicondutor. Para minimizar isso, utilizam-se revestimentos antirreflexo.
- **Sombra e Poeira:** A sujeira acumulada ou sombras projetadas bloqueiam o fluxo de fótons, reduzindo a irradiância útil. Em sistemas em série, uma única célula sombreada pode reduzir drasticamente a tensão do sistema e gerar "pontos quentes" (hot spots).

Otimização Geométrica e Geográfica

- **Inclinação das Placas:** Segundo a Lei da Incidência, o fluxo radiante é máximo quando os raios atingem a superfície de forma perpendicular (ângulo zero). Os painéis devem ser inclinados conforme a latitude local. Em Dourados-MS, por exemplo, a inclinação ótima média é de aproximadamente 22°.
- **Orientação Geográfica:** No Hemisfério Sul, as placas devem ser obrigatoriamente orientadas para o Norte geográfico (azimute = 0°). Desvios superiores a 15° reduzem drasticamente a produção diária de energia. CRESESB (2018).

Tecnologia dos Painéis e Dimensionamento Prático

Os módulos fotovoltaicos são construídos em um "sanduíche" de proteção: moldura de alumínio, vidro temperado, película EVA (encapsulante), células de silício e o backsheet (fundo protetor). Conforme exposto na figura 3.

Figura 3 - Diagrama de Bandas de Energia.

Fonte:Adaptada de Neto, 2021.

Para calcular a quantidade de placas necessária para uma residência, conforme Santos et al. (2021) e os procedimentos da sequência didática, segue-se o roteiro:

- Consumo Diário (C_d): Consumo mensal total dividido por 30 dias.
- Potência de Pico Necessária (P_{FV}):

$$P_{FV} = C_d \div (\eta \times H_{sun})$$

Onde η é a eficiência global (com perdas de 25%, usa-se 0,75) e Hsun é a irradiância local (ex: 5,09 para Dourados-MS).

- Número de Placas: Divide-se a potência total necessária pela potência nominal de uma placa (ex: 550 Wp).

Sequência didática: Guia para o professor

O percurso didático é dividido em 8 etapas estratégicas, sendo propostas 7 situações, organizadas para respeitar o tempo de maturação cognitiva e induzir a ruptura com obstáculos epistemológicos.

Momento de conversa com os colegas e aplicação de um questionário individual com problemas abertos para mapear a "base submersa do iceberg" da conceitualização. Forma de Identificar os invariantes operatórios precursores, que servirá de ponto de partida para as desestabilizações futuras.

Tempo Estimado Ideal: 50 minutos.

Utilização da plataforma Kahoot para um quiz interativo que explora situações tecnológicas reais sob pressão de tempo. Forma de Engajar os estudantes e promover a tomada de consciência imediata sobre suas incertezas conceituais através do feedback instantâneo de erros e acertos.

Tempo Estimado Ideal: 50 minutos

Aula expositiva-dialogada via slides - disponibilizados no apêndice A (abordando fótons, gap de energia e semicondutores) seguida da elaboração de um miniprojeto de dimensionamento residencial.

Tempo Estimado Ideal: 200 minutos (4 aulas de 50 min, dividido em dois encontros de 100 minutos cada para melhor absorção.

Hiato cronológico sem atividades formais sobre o tema. Forma de Respeitar a premissa de que o domínio de um campo conceitual é um processo de "muito fôlego". Esse tempo permite a reorganização e sedimentação estável dos esquemas mentais na estrutura cognitiva. Porém pode ser adaptada a realidade do professor.

Tempo Estimado Ideal: 2 meses.

Retomada após o intervalo utilizando post-its para criar uma nuvem de palavras no quadro com o que os alunos ainda recordam. Verificar quais invariantes tornaram-se estáveis e funcionais após o hiato, servindo como "aquecimento" para a prática.
Tempo Estimado Ideal: 30 minutos.

Atividade de laboratório utilizando kits com miniplacas solares e multímetros para variar ângulos, direções e simular sombras.
Tempo Estimado Ideal: 100 minutos.

Momento de interação direta com um profissional de Engenharia ou especialista do setor fotovoltaico, envolvendo a discussão de cenários reais de instalação.
Tempo Estimado Ideal: 50 minutos

Elaboração de um relatório individual estruturado (composto por perguntas abertas e fechadas) que convida o aluno a revisitar todas as situações vivenciadas na sequência, desde o diagnóstico inicial até a palestra.
Tempo Estimado Ideal: 50 minutos

Nas próximas páginas serão descritas as situações e os materiais necessários para aplicação.

Levantamento dos conhecimentos prévios

A Situação 1 desta sequência didática consiste na apresentação da temática aos estudantes. O professor deve transcrever o tema geral no quadro, destacando os quatro blocos estruturantes que nortearão as discussões. Após esse momento, deve-se permitir que os alunos tenham um período de cinco minutos para troca de ideias com seus pares sobre o que já conhecem acerca do assunto. Na sequência, procede-se à aplicação do Questionário de Levantamento de Conhecimentos Prévios. Este instrumento funciona como a 'porta de entrada' do campo conceitual, permitindo ao professor identificar os invariantes operatórios precursores e os teoremas-em-ação que os discentes mobilizam a partir de suas experiências cotidianas.

O questionário foi estruturado em quatro blocos fundamentais para garantir uma visão sistêmica da aprendizagem:

- **Bloco 1:** Contextualização sobre matriz energética e sustentabilidade.
- **Bloco 2:** Realidade geográfica e econômica da geração solar no Brasil.
- **Bloco 3:** Modelos microscópicos e físicos (Efeito Fotovoltaico).
- **Bloco 4:** Aplicação de conceitos de óptica física e eficiência técnica.

A análise dessas respostas servirá como diagnóstico para planejar as desestabilizações necessárias nas etapas seguintes da sequência."

Questionário

Responda as questões de forma individual, com base nos seus conhecimentos.

BLOCO 1 - FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS.

1 Em uma comunidade isolada, há escassez de combustíveis fósseis e grande disponibilidade de vento e sol. Como essa comunidade poderia gerar energia de forma sustentável? Quais obstáculos poderiam surgir?

2 Se todos os países substituíssem imediatamente suas fontes fósseis por renováveis, quais seriam os impactos (positivos e negativos) no cotidiano das pessoas?

BLOCO 2 - GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL

1 Uma fazenda solar foi instalada em uma região. Que características climáticas e geográficas podem beneficiar ou prejudicar sua operação?

2 O Brasil é um país com alta incidência solar. Por que a energia solar ainda representa uma parcela relativamente pequena da matriz energética nacional?

BLOCO 3 - FUNCIONAMENTO DO EFEITO FOTOVOLTAICO

1 Como a luz solar consegue gerar eletricidade em um painel solar? O que acontece com os elétrons no interior do material semicondutor?

2 Se todos os países substituíssem imediatamente suas fontes fósseis por renováveis, quais seriam os impactos (positivos e negativos) no cotidiano das pessoas?

3 Por que nem toda a luz que atinge o painel se transforma em energia elétrica? O que limita esse processo?

4 O que aconteceria se um painel solar fosse exposto à luz de uma lanterna comum? Ele geraria energia elétrica? Por quê?

BLOCO 4 - FATORES DE EFICÊNCIA: ÓPTICA APLICADA AO EFEITO FOTOVOLTAICO

1 O que aconteceria com a geração de energia se usássemos espelhos para concentrar mais luz sobre o painel? Há limites físicos para isso?

2 Se um painel solar for colocado perpendicular ao solo ao meio-dia, ele será mais eficiente do que se estiver inclinado? Por quê? Que leis da óptica explicam essa diferença?

3 Como a reflexão da luz na superfície do painel pode prejudicar a produção de energia? Como minimizar esse efeito usando princípios ópticos?

4 **Sabendo que a luz branca é composta por várias cores (comprimentos de onda), todas as cores contribuem igualmente para a geração de energia?**

5 **Imagine que um painel solar esteja coberto por poeira ou tenha uma camada de vidro opaco. Como isso afeta a transmissão e absorção da luz?**

Situação Mobilizadora (Jogo no Kahoot)

A Situação 2, denominada Situação Mobilizadora (Jogo no Kahoot), constitui um momento estratégico de engajamento e desestabilização cognitiva. Fundamentada na Teoria dos Campos Conceituais (TCC), ela visa forçar a explicitação do conhecimento implícito dos estudantes sob a pressão do tempo, utilizando o feedback imediato para promover a tomada de consciência sobre acertos e erros.

Abaixo, apresentamos o guia passo a passo para o professor e a matriz completa do jogo.

Passo a Passo para o Professor

- **Preparação prévio:** Acesse ao site da plataforma Kahoot, faça seu login como professor e crie o jogo com base nas questões apresentadas da tabela 1. O jogo deverá ser do formato quiz. (O site é intuitivo e instrui os passos).
- **Preparação do Ambiente:** Dirija-se à sala de multimídia ou tecnologia. Certifique-se de que os estudantes tenham acesso a smartphones ou computadores com internet.
- **Contextualização Teórica (Opcional):** Explique brevemente que o jogo é uma situação de verificação e que o erro é uma ferramenta valiosa para o aprendizado, pois indica a necessidade de reorganização dos esquemas mentais.
- **Logística de Acesso:** Projete o código (PIN) do jogo gerado na plataforma Kahoot. Oriente os estudantes a escolherem apelidos, com relação a seus nomes. Caso algum estudante não possua celular, incentive a participação em dupla, o que favorece a construção coletiva do conhecimento.

- ***Execução do Jogo:*** Inicie o quiz composto por 12 perguntas. O professor deve atuar na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), observando as reações da turma diante das questões mais desafiadoras.
- **Discussão Pós-Jogo:** Após o encerramento, o placar final servirá como um sistema de representação (R) da performance cognitiva da turma. O professor deve comentar as questões com maiores índices de erro, para desestabilizar teoremas-em-ação falsos (como o modelo térmico) antes de iniciar a etapa de conceitualização teórica.

Matriz de Questões e Alternativas do Jogo

Esta matriz apresenta todas as 12 perguntas utilizadas, destacando a resposta correta e os distratores.

Nº	Pergunta	Alternativa Correta	Demais altenativas
1	Entre as fontes de energia, qual fonte é de energia não renovável?	Energia Nuclear	Energia Solar; Energia Eólica; Energia Hidrelétrica
2	Ao observar a Matriz energética Brasileira, qual o percentual de energia solar e eólica?	4,4%	9,6%; 12,1%
3	Qual fator pode reduzir a eficiência de um painel solar?	Sombra Parcial	Alta incidência solar; Revestimento antirreflexo; Inclinação adequada
4	Qual das alternativas é uma fonte de energia renovável?	Energia Solar	Carvão mineral; Petróleo; Gás Natural

Nº	Pergunta	Alternativa Correta	Demais altenativas
5	O que ocorre com os elétrons no efeito fotovoltaico?	São excitados e geram corrente	Eles se multiplicam; São absorvidos pela luz; Evaporam com o calor
6	Qual parte do espectro eletromagnético contribui mais para o efeito fotovoltaico no silício?	Infravermelha	Luz visível; Ultravioleta; Ondas de rádio
7	O índice de refração influencia a...	Reflexão e absorção da luz	Resistência elétrica; Temperatura do painel; Velocidade da corrente elétrica
8	Qual destas regiões brasileiras possui maior potencial para energia solar?	Nordeste	Sul; Sudeste; Centro-Oeste
9	Como a poeira sobre um painel solar afeta sua eficiência?	Diminui a entrada de luz	Aumenta a absorção da luz; Reduz a reflexão; Não tem efeito
10	Qual é o papel do vidro na superfície do painel solar?	Proteger o painel e permitir a entrada de luz	Aumentar a temperatura; Refletir toda a luz
11	Qual destas opções melhora o aproveitamento da luz pelo painel?	Revestimento antirreflexo	Vidro fosco; Espelho curvo; Tinta preta
12	O que ocorre com a energia da luz absorvida pelo painel?	Libera elétrons que geram corrente elétrica	É transformada em calor; É refletida de volta; Evapora no ar

Conceitualização

A Situação 3 constitui o núcleo de Conceitualização da sequência didática e desempenha um papel fundamental na promoção da transição do estudante para o nível de diferenciação inicial, etapa em que novos elementos estruturantes do campo são introduzidos para substituir os invariantes operatórios intuitivo por modelos científicos formais.

Para a orientação do professor, esta fase configura-se como uma aula expositiva-dialogada e colaborativa voltada à apresentação dos fundamentos físicos e técnicos da energia solar, tendo como objetivo central na TCC o fornecimento de um sistema robusto de representações simbólicas (R) que permita ao estudante articular múltiplos conceitos, como fóton, gap de energia e semicondutores, para resolver tarefas específicas, como o miniprojeto de dimensionamento residencial. Para auxilio do aprofundamento dos conceitos, oriente aos estudantes que monte um fichamento durante a conceitualização.

A mediação docente nesta etapa exige que o professor atue como provocador, incentivando a verbalização de hipóteses e a transição da forma operatória do saber para a forma predicativa. Para apoiar este processo, são utilizados recursos visuais como slides didáticos que facilitam a visualização de conceitos abstratos, ressaltando-se que o material visual completo utilizado nesta etapa, desenvolvido na ferramenta Canva, será disponibilizado em formato PDF no Apêndice A deste produto educacional.

Logo após a finalização do slide, o professor aplicará um Questionário da Conceitualização, um instrumento destinado a validar a construção de novos invariantes e identificar como o conhecimento começou a ser explicitado pelos discentes.

Questionário conceitualização

COM BASE NA AULA, RESPONDA:

1 **Em uma discussão sobre sustentabilidade e fontes de energia no Brasil, um estudante afirma que o país utiliza majoritariamente fontes renováveis. Com base na matriz elétrica e energética brasileira, como essa afirmação pode ser avaliada?**

A) Correta, pois a matriz elétrica brasileira é composta majoritariamente por fontes renováveis, como a hidrelétrica e a solar.

B) Incorreta, pois o Brasil depende quase totalmente do petróleo para gerar eletricidade.

C) Incorreta, pois a energia nuclear é predominante na matriz elétrica brasileira.

D) Correta, pois apenas a energia solar é utilizada no Brasil atualmente.

E) Incorreta, pois a energia elétrica e a energética são a mesma coisa.

2 **Quando um fóton atinge uma célula solar de silício, ele pode gerar corrente elétrica. O que precisa acontecer para que essa geração ocorra?**

A) O fóton precisa ser refletido pela superfície da célula.

B) O fóton precisa atravessar toda a célula sem ser absorvido. C) O fóton deve ter energia igual ou maior que o gap do semicondutor, promovendo um elétron à banda de condução. D) O fóton deve aquecer a célula até 100°C.

E) O fóton deve ser convertido diretamente em calor.

3 **A empresa fictícia Marca X instalou um sistema fotovoltaico em uma escola em Dourados-MS. Após análise, identificaram queda no desempenho por recombinação radiativa e reflexão da luz. O que essas perdas representam?**

A) A recombinação indica que a luz está sendo desviada para o solo.

B) A reflexão representa o superaquecimento das placas.

C) A recombinação reduz a geração pois elétrons e lacunas se anulam antes de gerar corrente; a reflexão impede a entrada de fótons úteis.

D) Ambas as perdas representam problemas térmicos apenas.

E) Nenhuma dessas perdas afeta a geração de energia.

4 **Com base no espectro solar e na resposta da célula de silício cristalino (Si-c), qual é radiação mais eficiente para geração de energia?**

A) Ultravioleta, ~300 nm

B) Infravermelho profundo, ~1500 nm

C) Visível e infravermelho próximo, ~ 1000 nm

D) Micro-ondas e ondas de rádio

E) Toda a faixa espectral é igualmente útil

5 **Descreva o que ocorre quando um fóton atinge uma célula solar de silício e possui energia suficiente para gerar eletricidade.**

6 **Cite três fatores ópticos que reduzem a eficiência de uma célula fotovoltaica e explique como cada um afeta o desempenho. (Não podem ser recombinação radiativa e reflexão da luz).**

7 **Por que nem toda a luz solar que chega a um painel fotovoltaico é convertida em eletricidade? Relacione com a faixa do espectro eletromagnético.**

8 **Considerando que a irradiância média diária em Dourados-MS é de 5,09 kWh/m²/dia, e que um sistema tem rendimento de 75%, calcule quantos painéis de 550 Wp seriam necessários para atender uma casa com consumo de 600 kWh por mês.**

Lembrança estimulada

A Situação 4, denominada Lembrança Estimulada, ocorre estrategicamente após um hiato de dois meses (período de recesso/tempo cognitivo), fundamentando-se na premissa de Vergnaud de que o domínio de um campo conceitual é um processo de "muito fôlego" que exige tempo para a assimilação e reorganização dos esquemas mentais.

Guia de Aplicação:

Esta etapa visa acessar a "parte submersa do iceberg" da conceitualização, identificando quais conhecimentos foram de fato integrados à estrutura cognitiva dos estudantes após o intervalo temporal.

- **Provocação Inicial:** O professor deve iniciar o encontro com um questionamento oral aberto, incentivando a turma a externalizar elementos remanescentes das aulas de conceitualização. (*Exemplo: Quais fatores são importantes para a geração solar fotovoltaica?*).
- **Atividade com Post-its**: Distribua post-its para cada aluno e solicite que escrevam, de forma sucinta, o que consideram mais importante sobre os fatores que influenciam a geração solar fotovoltaica estudados anteriormente.
- **Construção da Nuvem de Palavras:** Os estudantes devem colar seus registros no quadro branco, criando uma nuvem de palavras física. Este exercício força a transição do conhecimento para a forma predicativa, na qual o sujeito enuncia as propriedades e relações do objeto de estudo.
- **Mediação e Discussão Coletiva:** O professor atua como mediador, agrupando os tópicos recorrentes — como "Raios Solares", "Inclinação", "Limpeza" e "Silício" — e comentando as respostas.

Prática - Experimental

A Situação 5 - Prática Experimental - representa o momento de confronto e ruptura definitiva entre os esquemas intuitivos dos estudantes e o conhecimento científico formal. Fundamentada na Teoria dos Campos Conceituais (TCC), esta etapa coloca o aluno como um sujeito-em-ação, permitindo que ele teste seus próprios invariantes operatórios frente ao dado empírico.

Abaixo, apresento o guia estruturado para que um professor de Física possa replicar esta situação, integrando os fundamentos físicos e os procedimentos metodológicos necessários.

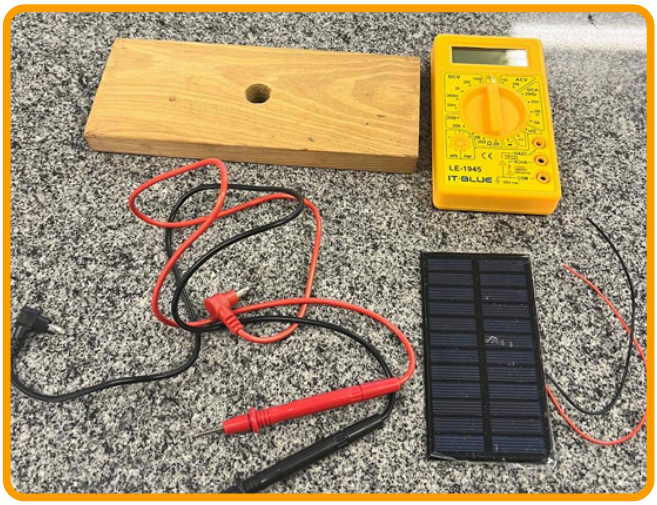
Guia para o Professor: Preparação e Mediação

1. Preparação do Ambiente e dos Kits

O professor deve, antes do início da aula, organizar o Laboratório de Física na quantidade bancadas dos grupos organizados. Cada bancada deve conter um kit experimental completo, conforme demostrado na figura 4, para garantir que todos os estudantes atuem como sujeitos-em-ação. Os materiais necessários por grupo são:

- 1 mini placa solar fotovoltaica;
- 1 multímetro digital;
- 2 cabos conectores;
- 1 transferidor para medição precisa de ângulos de inclinação;
- 1 celular com aplicativo de bússola e nível (ferramenta para confirmar direção/azimute e inclinação);
- 1 objeto para simular sombra (como um caderno ou objeto);
- Roteiro de atividade impressa para registro e análise.

Figura 4 - Bancada pré-organizada



Fonte: Elaboração própria, 2026.

2. Organização dos Estudantes

A turma deve ser dividida em grupos, conforme a quantidade de estudantes e kits organizados. Recomenda-se que a formação dos grupos favoreça a aprendizagem colaborativa, permitindo a troca de modelos explicativos entre os pares. O professor atua como mediador, intervindo para superar zonas de tensão sem retirar a autonomia dos discentes, provocando o conflito cognitivo necessário para a evolução dos esquemas.

3. Instruções Iniciais e Explicação do Roteiro

Antes de iniciarem as medições, o professor deve realizar uma breve demonstração técnica sobre:

- Configuração do Multímetro: Deve ser ajustado para a escala de tensão contínua (VDC).
- Conexão Correta: Como acoplar os cabos entre a placa e o aparelho de medição.
- Uso de Ferramentas Digitais: Instruir sobre como utilizar a bússola do celular para localizar o Norte geográfico e o nível para conferir o ângulo indicado pelo transferidor.
- Registro de Dados: Explicar que o roteiro não é apenas um formulário de respostas, mas o conjunto de representações simbólicas (R) que organiza a observação experimental em uma estrutura lógica e científica.

Roteiro - Prática

Objetivos

- Observar como a posição (ângulo e direção) e a presença de sombras influenciam na geração de energia elétrica por placas solares;
- Relacionar medições práticas de tensão com conceitos de energia solar fotovoltaica;
- Desenvolver habilidades de experimentação científica: observação, registro, comparação e análise crítica em grupo.

Materiais

- 1 mini placa solar;
- 1 multímetro digital;
- 2 cabos conectores;
- 1 transferidor (para medir ângulos de inclinação);
- 1 celular com aplicativo de bússola/nível (para confirmar direção e inclinação);
- Folha de atividades (tabelas + perguntas + espaço para análise);
- Objeto para simular sombra (caderno ou caixa pequena).

ATENÇÃO AS INSTRUÇÕES:

O professor fará uma explicação inicial sobre:

- Como usar o multímetro (configuração para tensão contínua – VDC).
- Como conectar corretamente a placa.
- Como medir ângulos com transferidor e direções com a bússola do celular.
- Como preencher os registros.

Descrição inicial da placa

- Quantidade de células: _____
- Formato: _____
- Cor predominante: _____
- Observações adicionais: _____
- Faça um desenho para representar a placa:

Medições de tensão (em volts – V)

➢ Conectar a placa ao multímetro.
➢ Realize uma leitura sem exposição direta ao sol.
➢ Registrar o valor de tensão.
➢ Posicionar a placa sob exposição solar.
➢ Registrar novamente o valor de tensão.
➢ Comparar com a medida sem sol.

a) Exposição à luz

CONDIÇÃO	TENSÃO MEDIDA (V)	OBSERVAÇÕES
Sem exposição solar		
Com sol direto		

b) Variação do ângulo de inclinação:

➢ Inclinar a placa em diferentes ângulos: 0°, 30°, 45°, 60°, 90° (usar transferidor ou celular);
➢ Registrar a tensão em cada posição.

CONDIÇÃO	TENSÃO MEDIDA (V)	OBSERVAÇÕES
0° (placa deitada)		
30º		
45º		
60º		
90º (em pé)		

c) Variação da direção (pontos cardeais):

➢ Orientar a placa para o norte, sul, leste e oeste;
➢ Confirmar a direção com a bússola do celular;
➢ Registrar as tensões.

CONDIÇÃO	TENSÃO MEDIDA (V)	OBSERVAÇÕES
Norte		
Sul		
Leste		
Oeste		

d) Simulação de sombra:

➢ Repetir uma medição posicionando um objeto para simular sombra parcial e total sobre a placa;
➢ Anotar a diferença de tensão.

CONDIÇÃO	TENSÃO MEDIDA (V)	OBSERVAÇÕES
Sem sombra		
Com sombra parcial		
com sombra total		

e) Azimute para Dourados-MS

➢ Orientar a placa com azimute aproximado de 23° a 25° para o norte (direção ideal para instalação em Dourados-MS);
➢ Medir a tensão e registrar.

CONDIÇÃO	TENSÃO MEDIDA (V)	OBSERVAÇÕES
Orientação (23° a 25° Norte)		

Questões para conclusão:

1 **Quantas células possui a placa solar utilizada?**

2 **O que muda entre a medida sem luz e com exposição solar direta?**

3 Qual foi o ângulo de inclinação mais eficiente?

4 Em qual direção a placa produziu maior tensão?

5 O que aconteceu quando parte da placa ficou sob sombra?

6 **Por que o ângulo de azimute em Dourados-MS é importante para a instalação de painéis solares?**

7 **Se a placa fosse instalada permanentemente em sua casa, qual posição você escolheria? Justifique.**

Palestra Técnica

A Situação 7 - Palestra Técnica constitui uma etapa fundamental na Sequência Didática, planejada intencionalmente para expandir o campo de conhecimentos dos estudantes para além dos limites da sala de aula e conectá-los com a engenharia aplicada. Após o confronto com o real na prática experimental, esta situação busca consolidar a forma predicativa do conhecimento — o "saber dizer" —, na qual o estudante torna-se capaz de enunciar propriedades, relações e transformações dos objetos de estudo utilizando uma linguagem técnica e científica refinada.

Abaixo, apresento o guia estruturado para que o professor de Física possa replicar ou adaptar esta situação, integrando os fundamentos físicos e metodológicos necessários.

Guia para o Professor: Preparação e Mediação

1. A Importância da Palestra na Perspectiva da TCC

A palestra técnica não é um momento passivo, mas uma situação sociotécnica real (S) que visa fortalecer o conjunto das representações simbólicas (R) dos estudantes. Ela permite a integração de subcampos antes isolados, como a física quântica (fótons e gap), a geografia (azimute e irradiância) e a economia (rentabilidade e payback), movendo o aluno em direção a uma integração sistêmica do conhecimento. Conforme apontam Santos et al. (2021), o uso inteligente das fontes renováveis favorece a redução de custos, e o contato com a realidade profissional ajuda o aluno a validar seus invariantes operatórios frente às demandas reais do mercado.

2. Opções de Implementação (Caminhos para o Professor)

O professor possui flexibilidade para realizar esta etapa de acordo com a disponibilidade de recursos de sua localidade:

- **Parceria Profissional (Recomendado):** Buscar uma parceria com o comércio local de energia solar para que um engenheiro ou técnico especialista realize a palestra na escola. Este contato direto permite que os estudantes atuem como sujeitos-em-ação ao levantarem questionamentos fundamentados sobre instalação e durabilidade de materiais.
- **Visita Técnica:** Caso seja possível, substituir a palestra por uma visita técnica a uma usina solar. Atividades práticas e visitas planejadas são enfatizadas nos documentos curriculares por proporcionarem uma aprendizagem prática e marcante da ciência.
- **Mediação Digital (Alternativa):** Caso as opções anteriores sejam inviáveis, o professor pode mediar a aula utilizando recursos audiovisuais de alta qualidade técnica que mostram a aplicação real do sistema:
  - Funcionamento de uma usina solar: Manual do Mundo - Como funciona uma Usina Solar - https://www.youtube.com/watch?v=_W1nQT7az8c
  - Como a energia chega em casa: Manual do Mundo - DESCUBRA como a ENERGIA chega na SUA CASA - https://www.youtube.com/watch?v=BYpThzHDUlM

3. Recursos e Mediação Docente

- **Material de Apoio:** O professor também pode utilizar o slide expositivo utilizado na palestra técnica deste produto educacional, que será disponibilizado no Apêndice B para facilitar a mediação científica.

- **Atuação do Professor:** O docente deve atuar como mediador, incentivando os estudantes a relacionarem os conceitos de radiação, eficiência e semicondutores discutidos anteriormente com os dados técnicos apresentados pelo palestrante ou pelos vídeos.

4. Preparação para o Relatório Final

Ao final da palestra ou exibição dos vídeos, o professor deve orientar os estudantes a anotarem termos técnicos como "azimute", "inversor" e "projeto de viabilidade". Esses termos funcionarão como novos significantes que serão essenciais para a redação do Relatório Final (Situação 8), onde o enriquecimento do esquema do estudante será avaliado através de sua capacidade de síntese e argumentação técnica.

Relatório final

A Situação 8, denominada Relatório Final representa o fechamento e o ápice da Sequência Didática (SD) proposta nesse produto. Diferente de uma avaliação tradicional, esta etapa é concebida como um instrumento para a externalização das representações simbólicas (R) e para a manifestação da forma predicativa do conhecimento — o "saber dizer" e o "saber explicar".

Abaixo, apresento o guia organizado para que o professor possa aplicar esta etapa final.

Guia para o Professor

1. O que é e qual sua importância na TCC?

Esta etapa consiste na elaboração de um relatório individual estruturado que convida o estudante a revisitar todo o percurso cognitivo realizado. Na perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), o relatório final favorece a tomada de consciência (metacognição), permitindo ao estudante avaliar seu próprio progresso e transformar o conhecimento operatório (adquirido na prática com as placas) em justificativas científicas estáveis e coerentes.

2. Objetivos da Situação

- Consolidar a transição da forma operatória (saber agir em situação) para a forma predicativa (saber enunciar propriedades e relações do objeto);
- Avaliar se a "base submersa do iceberg" da conceitualização foi reorganizada em direção aos modelos científicos aceitos;
- Identificar a estabilização de invariantes operatórios sistêmicos.

Passo a Passo - Execução

- **Resgate Cronológico:** Inicie a aula retomando sistematicamente as situações vivenciadas desde o diagnóstico inicial, passando pelo jogo Kahoot, pelas aulas teóricas, pelo intervalo de dois meses, pela prática experimental e pela palestra técnica.
- **Distribuição do Instrumento:** Entregue o relatório individual (composto por 19 questionamentos abertos e fechados) para ser preenchido de forma reflexiva.
- **Mediação do Silêncio:** O professor deve atuar como mediador, incentivando o estudante a utilizar a terminologia técnica recém-adquirida (fótons, gap, irradiância, azimute) para fundamentar suas respostas.
- **Análise das Dúvidas:** As incertezas que ainda aparecerem no relatório não devem ser vistas como falhas, mas como indicadores dos limites temporais do processo de conceitualização, respeitando a premissa de que o domínio de um campo exige tempo.

Estrutura de Questionamentos

O relatório disponível nas próximas páginas foi organizado em blocos temáticos que refletem a evolução longitudinal do estudante:

- **Bloco 1: Levantamento dos conhecimentos prévios:** Reflexão sobre as impressões iniciais do questionário e do jogo Kahoot.
- **Bloco 2: Conceitualização Teórica:** Avaliação da clareza do material didático (slides) e explicação do mecanismo do efeito fotovoltaico (uso de termos como fóton e elétron).

- **Bloco 3: A Prática Experimental:** Descrição das impressões sobre a aula de laboratório, incluindo a influência da sujeira, dos ângulos e da orientação ao Norte.
- **Bloco 4: Palestra técnica:** Síntese da palestra técnica e conexão com o mercado de trabalho.
- **Bloco 6: Síntese Sistêmica:** Definição final sobre o que é energia solar fotovoltaica e registro de dúvidas remanescentes.

Questionário final

Responda as questões de forma individual, com base nos seus conhecimentos.

Bloco 1: Levantamento dos conhecimentos prévios

1 **Durante a 1ª aula, tivemos um questionário inicial que você deveria responder o que saiba sobre os temas, descreva o que lembra dessa aula. (Descreva se conseguiu responder todas, se lembra de alguma dúvida, se a aula foi interativa e outros).**

2 **Na 2ª aula, realizamos um jogo, na sala de multimídia. Responda suas impressões sobre o jogo. Você conseguiu responder todas as questões? Você chutou questões? A aula foi interativa? Deixe suas impressões e lembranças sobre a aula.**

Bloco 2: Conceitualização Teórica

3 **Nessas aulas, a professora apresentou um slide, responda à questões com base na análise do slide:**

➢ **Clareza das informações:**
( ) Muito claro
( ) Claro em partes
( ) Pouco claro
( ) Nada claro

➢ **Organização visual:**
( ) Bem organizado
( ) Regular, mas com excesso de texto
( ) Regular, mas com poucas imagens
( ) Mal organizado

➢ **Utilidade para aprender:**
( ) Ajudou muito a entender
( ) Ajudou em parte
( ) Não ajudou
( ) Atrapalhou mais do que ajudou

➢ **O que você achou da quantidade de slides apresentada na aula?**
( ) Ideal, não ficou cansativo
( ) Boa, mas poderia ser um pouco menor
( ) Boa, mas poderia ter mais slides explicando melhor
( ) Excessiva, ficou cansativo
( ) Pouca, deixou a aula corrida

4 Sobre os conceitos estudados no slide, descreva alguns pontos que você lembra da aula. Pode ser em forma de texto, tópico, desenho de esquemas.

5 O efeito fotovoltaico é parecido com o efeito fotoelétrico?

6 A energia solar é muito utilizada no Brasil?

7 **Quais fatores ópticos interferem na eficiência de uma placa?**

8 **Qual a diferença entre energia renovável e não renovável?**

9 **Sobre a aula, deixe suas impressões sobre a aula de modo geral.**

Bloco 3: A Prática Experimental

10 **Sobre a nossa aula prática, descreva suas impressões sobre a aula:**

11 **O que mudou na geração de energia quando a placa estava suja?**

12 **O que aconteceu quando mudamos o ângulo da placa?**

13 **Qual condição gerou mais energia no experimento?**

14 O que você aprendeu na prática que não tinha percebido nos slides?

Bloco 4: Palestra técnica

15 Sobre a nossa Palestra, descreva suas impressões sobre a aula:

16 O que mais chamou sua atenção na palestra?

17 Cite um exemplo prático de uso de energia solar que você conheceu.

Bloco 6: Síntese Sistêmica

18 **Após todas as aulas, o que você entende hoje sobre energia solar fotovoltaica?**

19 **O que você ainda tem dúvida sobre esse tema?**

Comentários finais

Caro professor, faça bom uso deste produto educacional, aplicando-o da melhor forma possível à sua realidade escolar e às necessidades específicas de seus estudantes. Esta sequência didática foi concebida com um caráter flexível e adaptável, o que significa que não deve ser encarada como uma "receita pronta" e imutável. Você tem total liberdade para utilizá-la na íntegra ou em partes, selecionando as situações potenciais que melhor se ajustem ao seu contexto e tempo pedagógico.

Para que a aplicação seja útil e verdadeiramente eficaz, encorajamos que você mergulhe nos pressupostos da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud, que fundamenta cada etapa deste material. Lembre-se de que o conhecimento dos estudantes manifesta-se como a "ponta visível de um iceberg", sustentada por uma base submersa de conhecimentos implícitos e invariantes operatórios que nem sempre são científicos. Sua missão, como professor-mediador, é atuar como um provocador de situações desafiadoras que forcem a reorganização desses esquemas mentais.

Abaixo, apresentamos pontos fundamentais para expandir e qualificar sua prática com este produto:

- **Identificação e Modificação de Invariantes:** Utilize o diagnóstico inicial para detectar os invariantes operatórios precursores dos alunos. É comum que eles tragam um "modelo térmico", acreditando erroneamente que o calor é o motor da geração solar. O sucesso da aprendizagem reside em promover o conflito cognitivo necessário para que ocorra a ruptura com esse obstáculo, substituindo-o pelo modelo quântico de interação radiação-matéria.

- **Aprofundamento de Esquemas e Conceitos:** Introduza progressivamente novos conceitos-em-ação, como fóton, gap de energia e bandas de condução. Ajude o estudante a coordenar essas variáveis microscópicas com dados macroscópicos e técnicos, como a irradiância, o azimute e a inclinação das placas. O domínio de um campo conceitual complexo exige que o aluno deixe de perceber o painel solar como uma "caixa preta" e passe a entender a física intrínseca do material semicondutor.
- **Do Saber Fazer ao Saber Dizer:** Estimule a transição da forma operatória do conhecimento (a ação prática no laboratório com multímetros) para a forma predicativa. Incentive os alunos a explicitarem e justificarem suas escolhas técnicas por meio da linguagem natural e representações simbólicas, como gráficos e esquemas. O ato de verbalizar e explicar o fenômeno é o que consolida a alfabetização científica.
- **Diversificação de Situações (Tripleto S, I, R):** A TCC ensina que um conceito não se forma em uma única situação. Por isso, este produto oferece desde jogos interativos (Kahoot) e simulações de dimensionamento residencial até a experimentação direta e o contato sociotécnico com profissionais da área. Essa variação sistemática é o motor para que os significados se tornem estáveis e transferíveis para a vida real.

Desejamos que esta proposta torne a Física mais atrativa e interessante aos seus olhos e aos de seus estudantes. Ao transformar a sala de aula em um ambiente de construção ativa, onde o erro é tratado como uma hipótese incompleta a ser mediada, você permite que o aluno se torne o arquiteto de seu próprio saber. Esperamos que este material contribua para a formação de cidadãos tecnicamente autônomos e conscientes das demandas de sustentabilidade do nosso tempo.

Boa aula e uma excelente jornada de conceitualização!

Referências

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. **Oficina temática: uma proposta metodológica para o ensino do modelo atômico de Bohr. Ciência & Educação**, 20(02), 481-495, 2018.

CAMPELO, Djamilton Foicinha. Sequência de ensino investigativa para o estudo do efeito fotovoltaico em uma abordagem experimental na perspectiva da Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud. 2019. 165 f. **Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física)** – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

CARVALHO JR, G. D.; AGUIAR JR, O. G. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 207-227, 2008.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2006.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. 10. reimpr. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica.** 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 1, p. 7-29, 2002. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/cref/pub_edu_fis/vol7_num1/Art1_v7_n1.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025. v.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem. 2. ed. ampl.** São Paulo: EPU, 2011. 242 p.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** 43, p. e20200451, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhqLy/. Acesso em: 10 nov. 2024.

MEIRELES, Emmely Ketlem Rosas; MEIRELES, Evelym Chaves; SILVA, Lúcio Fábio Pereira da. Reflexões sobre a Teoria dos Campos Conceituais no Ensino de Física. **Caderno de Física da UEFS,** Feira de Santana, v. 21, n. 2, p. 2101.1-13, 2023.

NETO, Alexandre Moraes Bueno. As contribuições do painel solar fotovoltaico para o futuro da energia alternativa. 2021. 28 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica)** – Faculdade Pitágoras, Imperatriz, 2021.

ROCHA, J. S.; CATARINO, G. F. C. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud: uma análise da conceitualização em atividades experimentais de Física. RCEF: **Revista Ciência em Foco**, Campinas, v. 13, e020018, p. 1-20, 2020.

SANTOS, Benilson da Silva et al. Ensino de Física e Sustentabilidade: Energia Solar - Produção, Consumo e Potência**. Research, Society and Development,** v. 10, n. 15, e279101522946, 2021.

SWART, Jacobus Willibrordus. **Semicondutores: Fundamentos, Técnicas e Aplicações**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008.

TERRA, Idelma Aparecida Alves. Investigação espectroscópica e estudo dos processos de conversão de energia em vidros e nano-cristais co-dopados com íons Tb3+ e Yb3+. 2013. **Tese (Doutorado em Física)** – Instituto de Física de São Carlos, USP, São Carlos, 2013.

VERGANAUD, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (1982). Addition and subtraction. **A cognitive perspective.** Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 39-59.

VERGNAUD, Gérard. La théorie des champs conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques,** v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VERGNAUD, G. Teoria dos campos conceituais. In: NASSER, L. (Ed.). Anais do 1º **Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: Nasser, p. 1-26, 1993.

VERGNAUD, G. A Teoria dos Campos Conceituais. In: BRUN, J. (org.). **Didáctica das matemáticas**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996b. p. 155-191

VERGNAUD, Gérard. A comprehensive theory of representation for mathematics education. **Journal of Mathematical Behavior**, v. 17, n. 2, p. 167–181, 1998.

VERGNAUD, Gérard. The theory of conceptual fields. **Human Development**, v. 52, n. 2, p. 83-94, 2009.

VERGNAUD, G. A criança, a matemática e a realidade: problemas do ensino da matemática na escola elementar. Tradução de Maria Lucia Faria Moro. **Curitiba: Ed. da UFPR**, 2014.

ZILLES, Roberto et al. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. S**ão Paulo: Oficina de Textos**, 2012.

Apêndice A

No Apêndice, encontra-se disponibilizado o material em formato de slides utilizado nas aulas de conceitualização, elaborado com o objetivo de apoiar a mediação dos conteúdos e a construção dos conceitos trabalhados ao longo da sequência didática.

Energia Solar Fotovoltaica

e os fatores que influenciam sua geração

Professora
GABRIELA ROSA

Fontes de Energia
Matriz energética e elétrica

Fontes de energia

Fonte de energia não renovável

- Petróleo;
- Carvão Mineral;
- Gás Natural;
- Nuclear.

Fonte de energia renovável

- Solar;
- Eólica
- Hidroelétrica;
- Maremotriz – oceânica;
- Biomassa

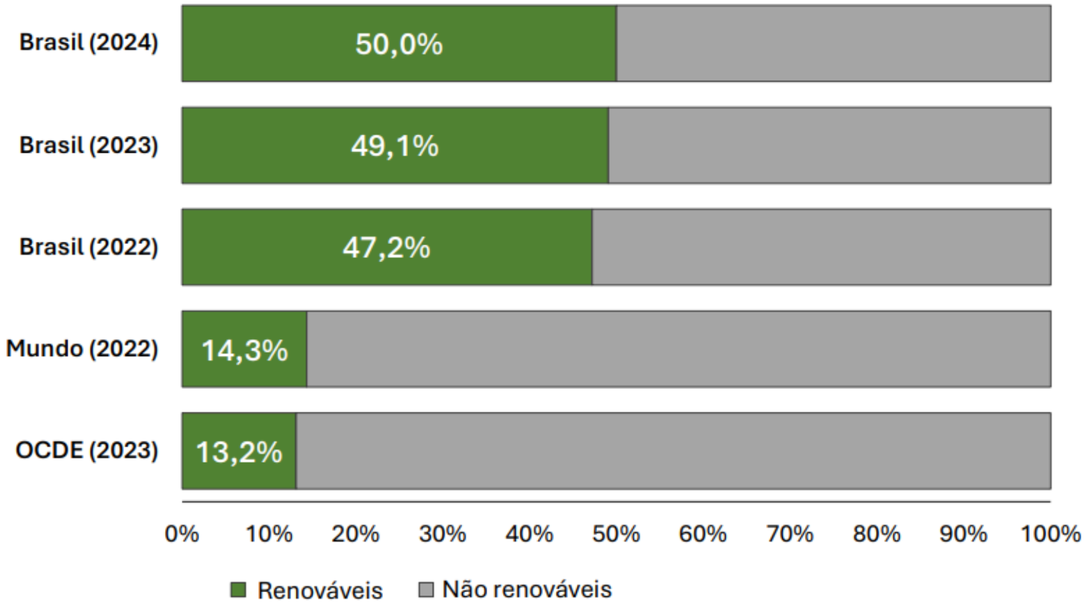
Benefícios e Malefícios

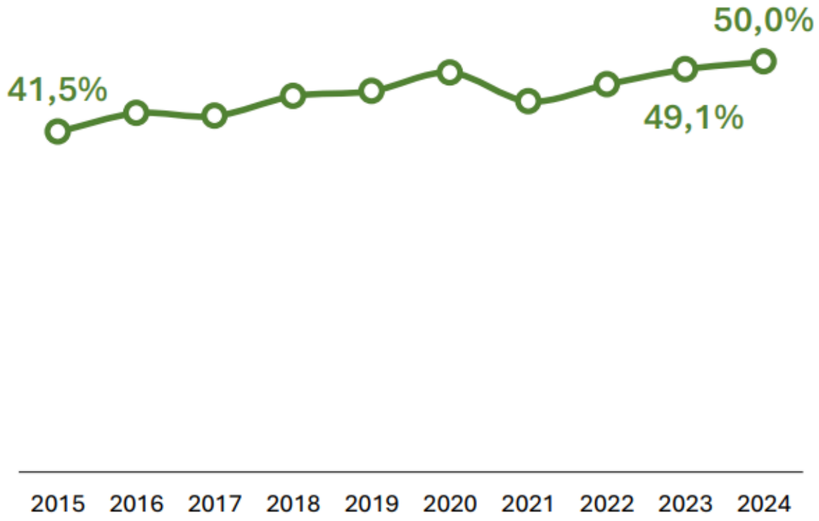
Matriz energética

A **participação de fontes renováveis na matriz energética**[1] foi marcada pelo aumento da oferta interna de biomassa, eólica e solar, associado à queda de petróleo e derivados, proporcionando o patamar de 50% de renovabilidade, marco histórico desde o ano de 1990[2].

Participação das renováveis na OIE

Fonte: Agência Internacional de Energia (AIE) e EPE para o Brasil. Elaboração: EPE





Matriz energética

Repartição da Oferta Interna de Energia (OIE) 2024

RENOVÁVEIS ▶ 50,0%

- Biomassa da Cana: 16,7%
- Hidráulica[1]: 11,6%
- Eólica: 2,9%
- Lenha[2] e Carvão Vegetal: 8,5%
- Licor preto e Outras renováveis[3]: 8,1%
- Solar[4]: 2,2%

NÃO RENOVÁVEIS ▶ 50,0%

- Petróleo e derivados: 34,0%
- Gás Natural: 9,6%
- Carvão Mineral: 4,5%
- Urânio: 1,3%
- Outras não renováveis[5]: 0,6%

Matriz elétrica

Oferta Interna de Energia Elétrica

No caso da energia elétrica, verificou-se crescimento na oferta interna de 39,7 TWh (+5,5%) em relação a 2023.

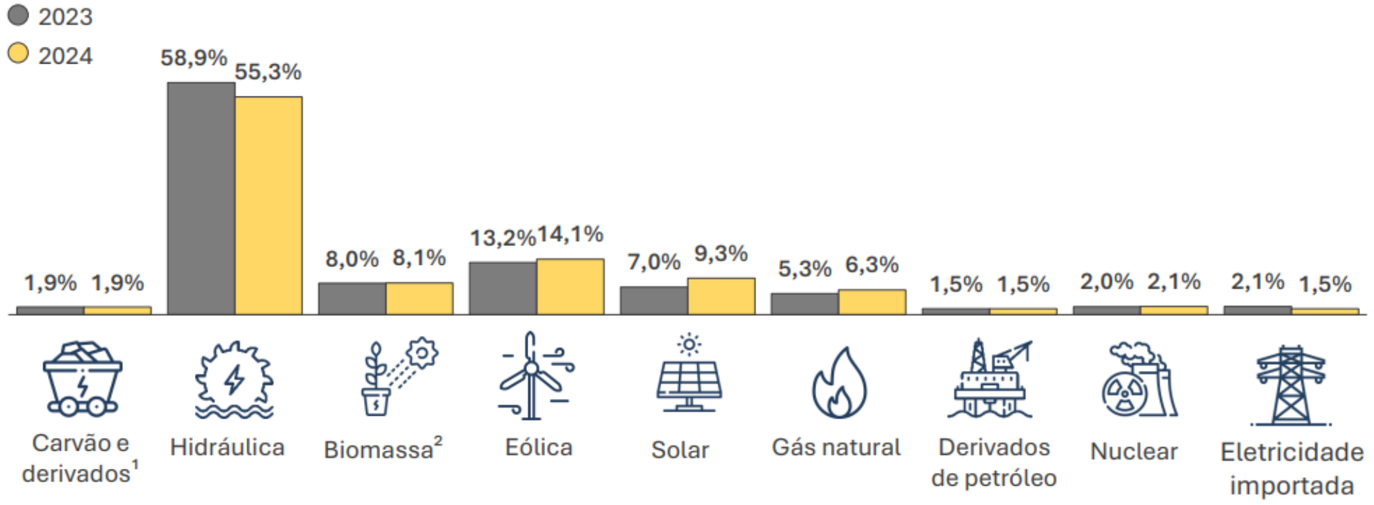
Os principais destaques foram os seguintes:

- A participação de renováveis na matriz elétrica ficou em 88,2% em 2024.
- A geração solar fotovoltaica atingiu 70,7 TWh (geração centralizada e MMGD) crescendo 39,6% e a sua capacidade instalada alcançou 48.468 MW, expansão de 28,1% em relação ao ano anterior.
- A geração hidrelétrica se manteve praticamente estável, com leve redução de apenas 4,2 TWh, o que representou uma queda de 1% em relação a 2023.
- A geração eólica atingiu 107,7 TWh (crescimento de 12,4%) e a sua potência instalada alcançou 29.550 MW, expansão de 3%.
- Aumento de 11,4% na geração termelétrica, totalizando 151,2 TWh em 2024.
- Em 2024, 40,6% da geração térmica foi oriunda de biomassa.

Matriz elétrica

A matriz elétrica brasileira em 2024 apresentou queda de participação da fonte hidráulica associada ao aumento das participações das fontes eólica, solar e do gás natural.

Participação das fontes na matriz elétrica:



2024 (TWh)
Oferta Total: 762,9
Oferta Hidráulica: 433,4

2023 (TWh)
Oferta Total: 723,2
Oferta Hidráulica: 441,1

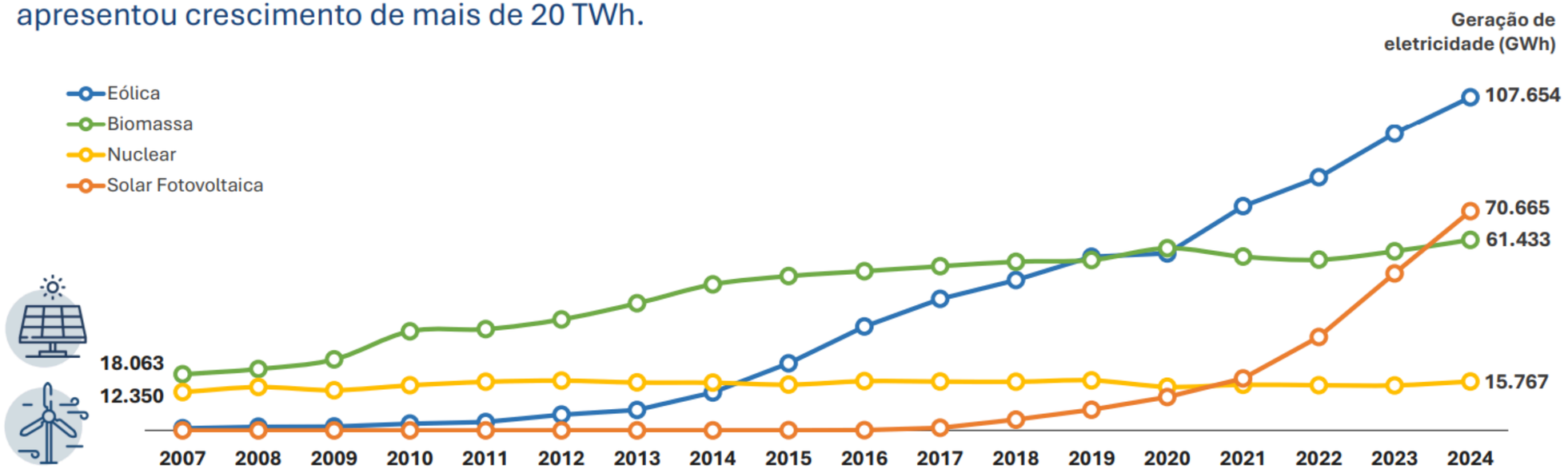
Aumento de 5,5% da Oferta Total

Queda de 1,7% da Oferta hidráulica

Os principais movimentos em termos de taxa de variação da geração de eletricidade foram a expansão da geração solar fotovoltaica (+39,6%) e eólica (+12,4%), a leve queda da geração hidráulica (-1,0%), e o aumento da geração a partir de gás natural (+23,9%).

Matriz elétrica

Em 2024, a geração eólica sofreu aumento de cerca de 11,9 TWh, enquanto a geração solar fotovoltaica apresentou crescimento de mais de 20 TWh.



A geração eólica teve um crescimento de 12,4% em relação à 2023, consolidando a liderança entre as quatro fontes. No entanto, a maior evolução se deu na fonte Solar Fotovoltaica, com 39,6% de crescimento em relação a 2023, ultrapassando a geração a biomassa.

Fotovoltaica

História - Efeito - Funcionamento - Células - Estruturas

Efeito Fotovoltaico

1 Origem

O início da tecnologia fotovoltaica ocorreu com a descoberta do efeito fotovoltaico, feita pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel. Em 1839, ele percebeu que certos materiais podiam gerar corrente elétrica quando expostos à luz. Essa descoberta abriu caminho para a criação das primeiras células solares.

2 1º célula fotovoltaica

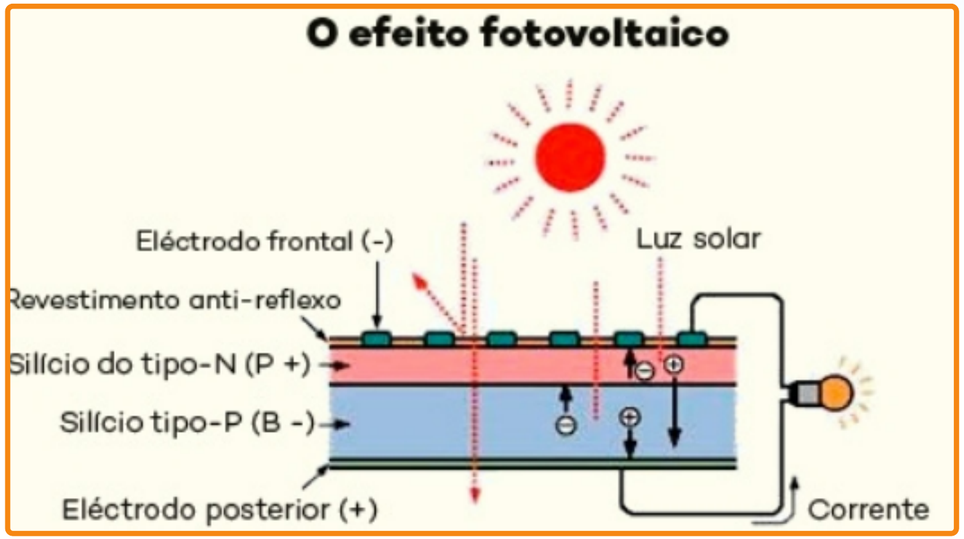
O inventor Charles Fritts, de Nova York, criou a primeira célula fotovoltaica funcional em 1883. Ele utilizou selênio revestido de ouro, conseguindo gerar uma corrente contínua, embora com eficiência de apenas 1%. Esse desenvolvimento marcou o início da conversão de luz solar em eletricidade.

3 Consolidação

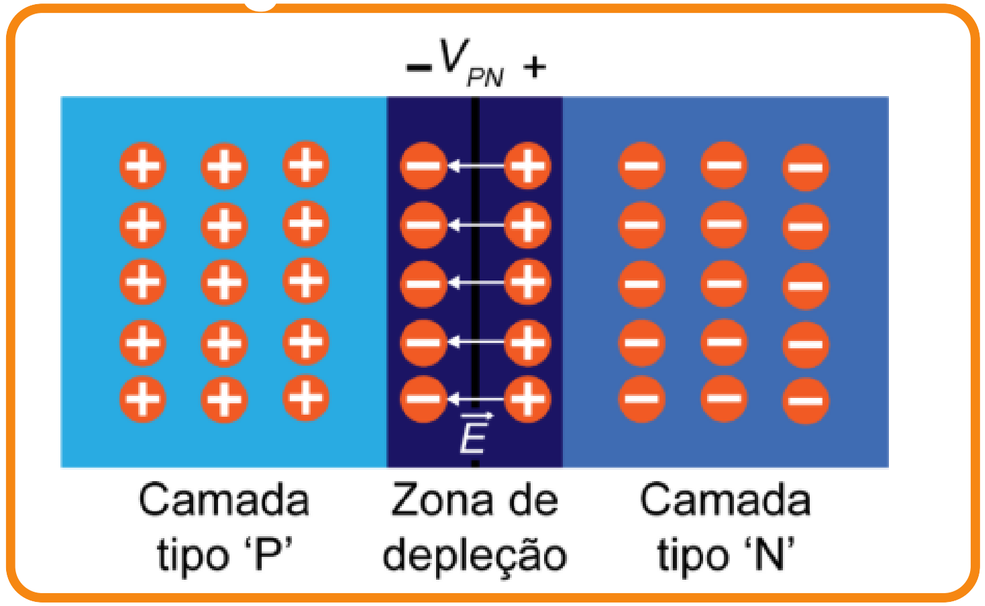
Em 1941, a primeira célula solar de silício confeccionada por Russel Ohl com uma eficiência de 1%. Em 1954, Fuller, Pearson e Chapin anunciaram a 1º Célula fotovoltaica de silício com eficiência 6%. Na década de 80, foram fabricadas células de silício com eficiência de 20%.

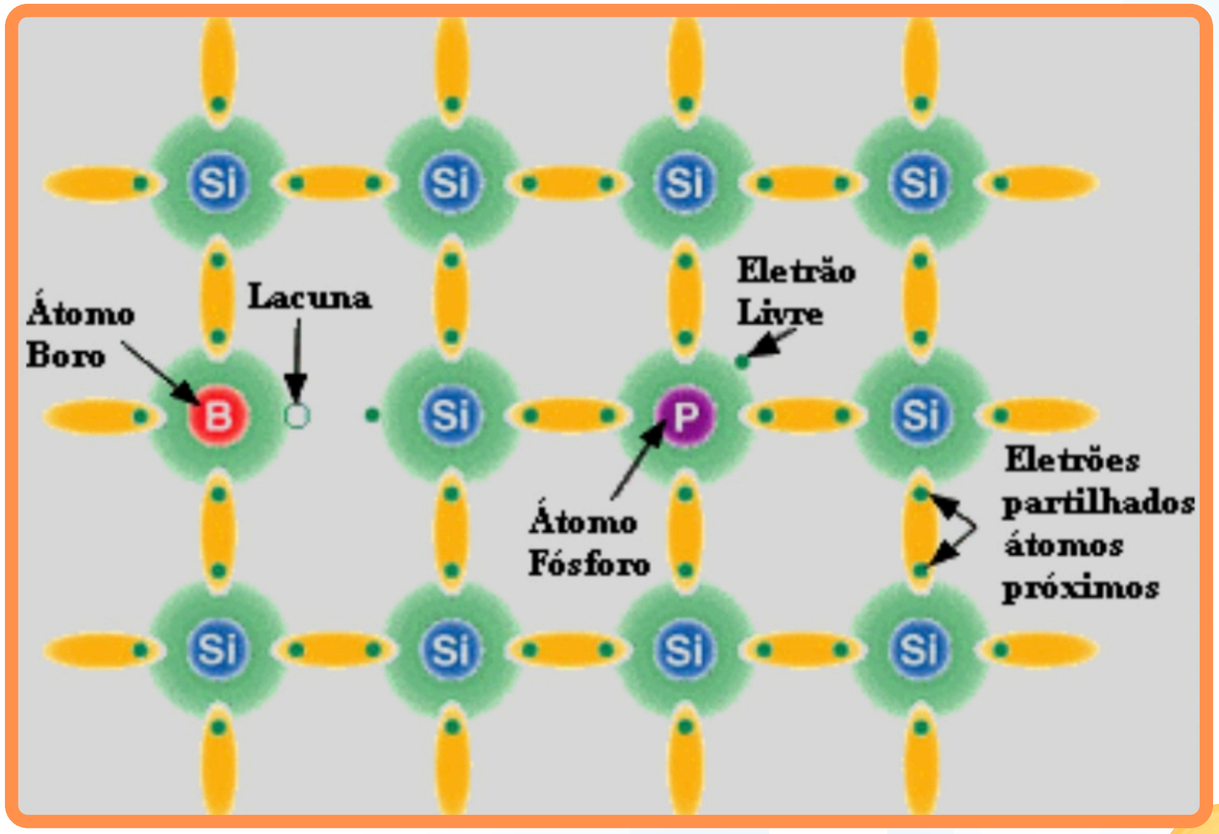
4 O funcionamento

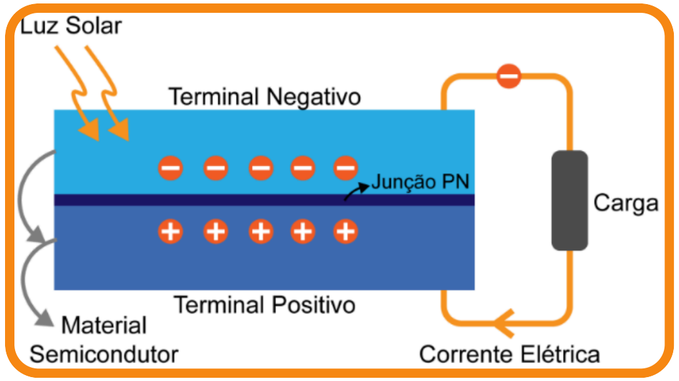
- Nos painéis solares, a luz solar incide sobre um material semicondutor (geralmente silício).
- Cada fóton com energia igual ou superior à banda proibida (gap) do semicondutor pode excitar um elétron da banda de valência para a banda de condução.
- Isso gera pares elétron-lacuna, que são separados pelo campo elétrico interno da junção p-n, produzindo corrente elétrica.



Funcionamento da célula Fotovoltaica





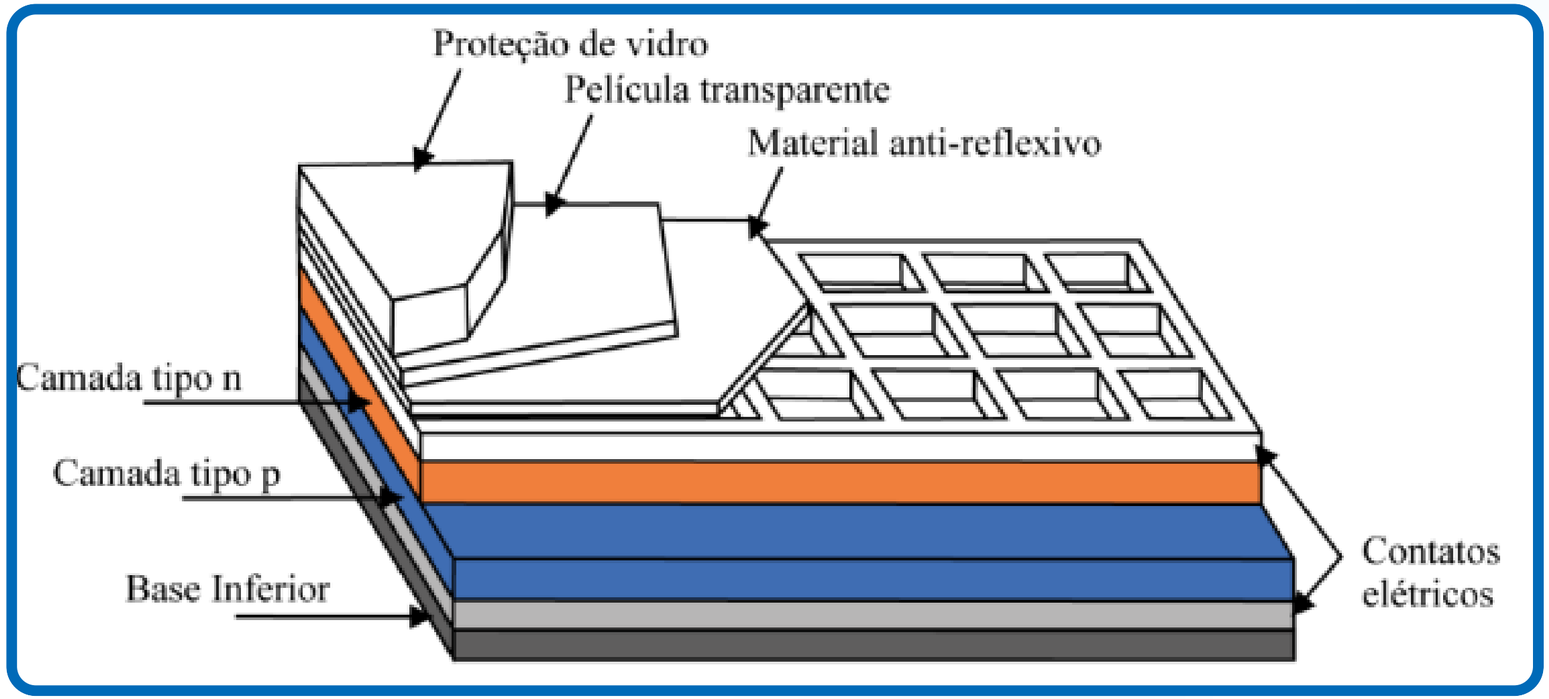


Estrutura de uma célula fotovoltaica

Atualmente, a maior parte das células comerciais medem entre 100 cm² e 200 cm², sendo capazes de gerar aproximadamente 0,6 V de tensão para uma potência entre 1 W e 3 W.

Componentes

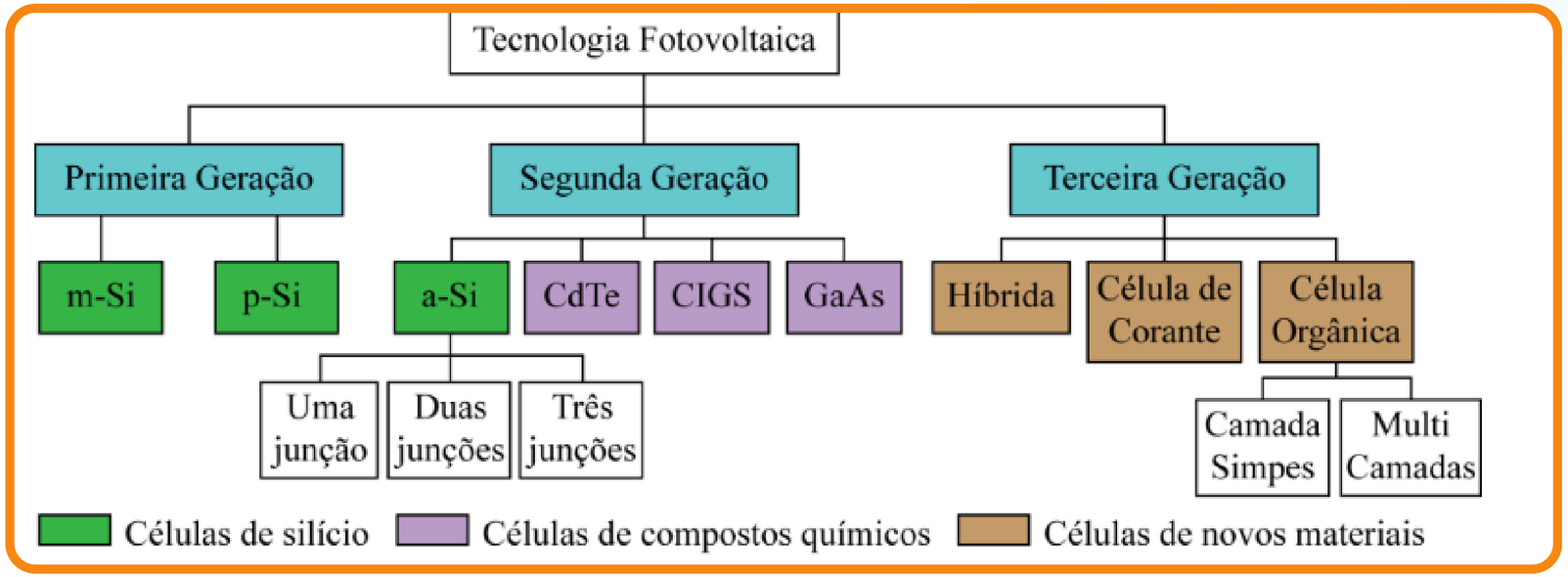
- **Proteção de Vidro;**
- **Película transparente;**
- **Película antirreflexo para redução da reflexão da radiação incidente;**
- **Silício tipo N dopado com fósforo, com espessura de aproximadamente 300 nm, constituindo a região negativa da célula;**
- **Silício tipo P dopado com boro, com espessura de aproximadamente 250 µm, constituindo a região positiva da célula;**
- **Contatos metálicos/elétricos;**
- **Base.**



Diferentes tecnologias para as células fotovoltaicas

Tipos de Células

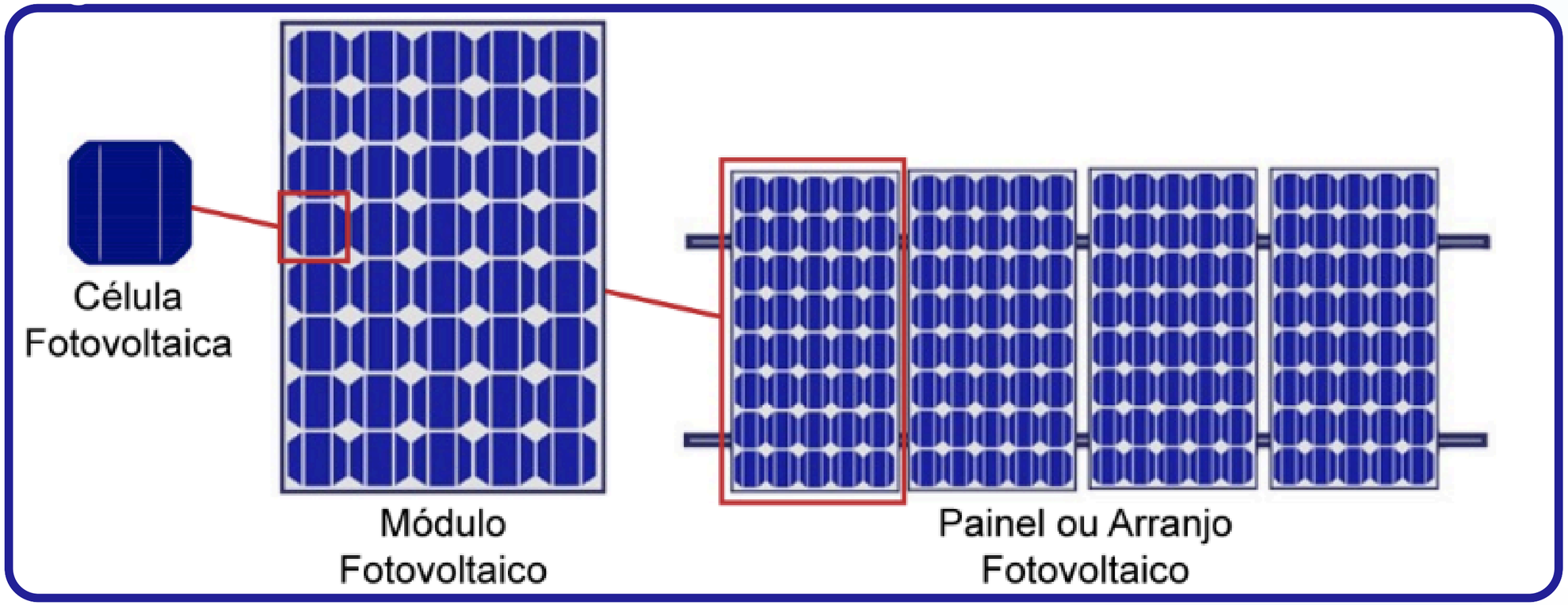
- **Células de silício cristalino;**
- **Célula de silício monocristalino (m-Si);**
- **Célula de silício policristalino (p-Si);**
- **Célula fotovoltaica de filme fino (ex: a-Si);**
- **Célula fotovoltaica de heterojunção (HJT);**
- **Célula solar de silício amorfo (a-Si);**
- **Célula fotovoltaica de seleneto de cobre índio e gálio (CIGS);**
- **Célula fotovoltaica de telureto de cádmio (CdTe);**
- **Célula solar de arseneto de gálio (GaAs);**
- **Célula fotovoltaica orgânica (OPV).**



Eficiência média

- **Primeira Geração:**
  - Monocristalina - **15% a 22%** e Policristalina - **14% a 20%.**
- **Segunda Geração:**
  - Silício amorfo: **6% a 9%** e CdTe: **9% a 16%** (maior entre os filmes finos).
- **Terceira Geração:**
  - Multijunção - **até 46%** e DSSC - **12,3%.**

Célula, Placa e arranjo fotovoltaico



Fatores físicos e ópticos que influenciam a geração fotovoltaica

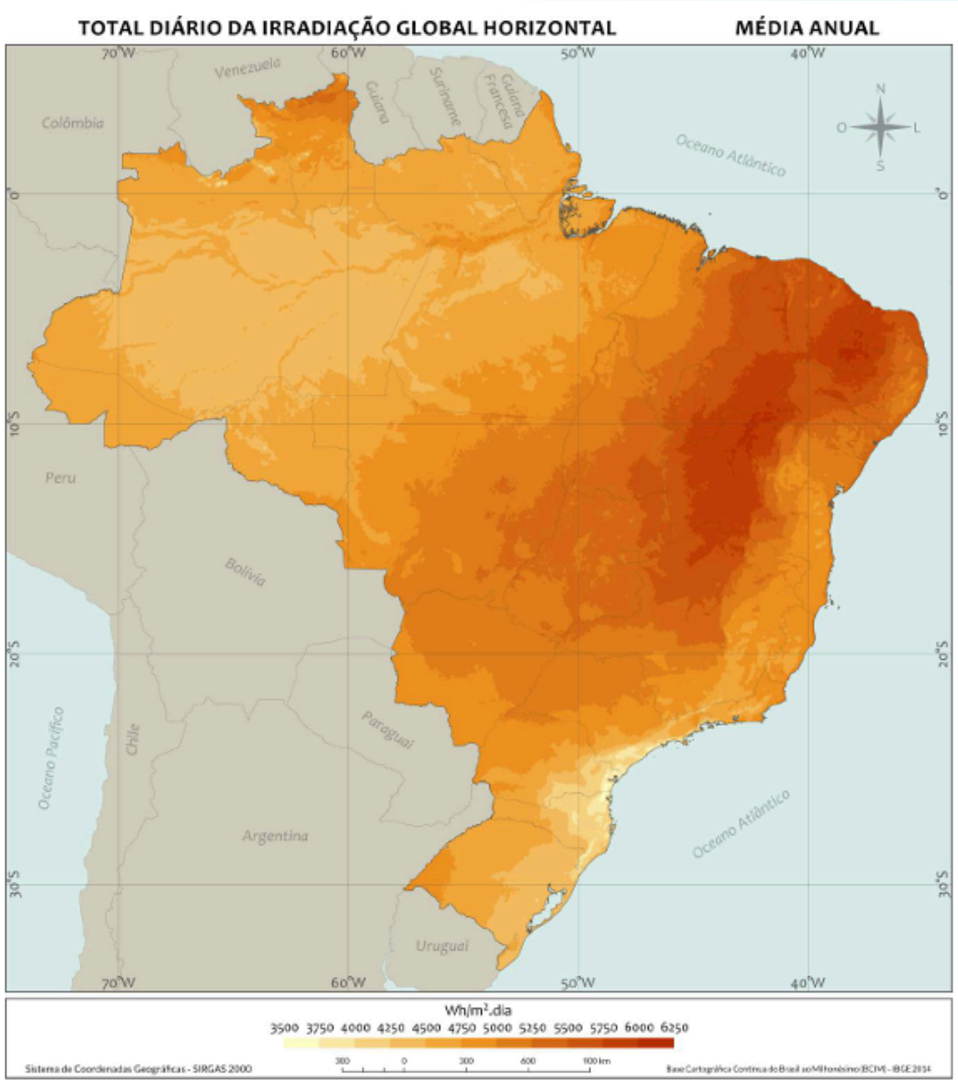
Sol – Potencial solar do Brasil

1 Irradiação Solar

- Irradiação solar diária média: 4,5 a 6,3 kWh/m²/dia (Atlas Solarimétrico, 2000).
- Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017): Brasil tem um dos melhores potenciais globais..

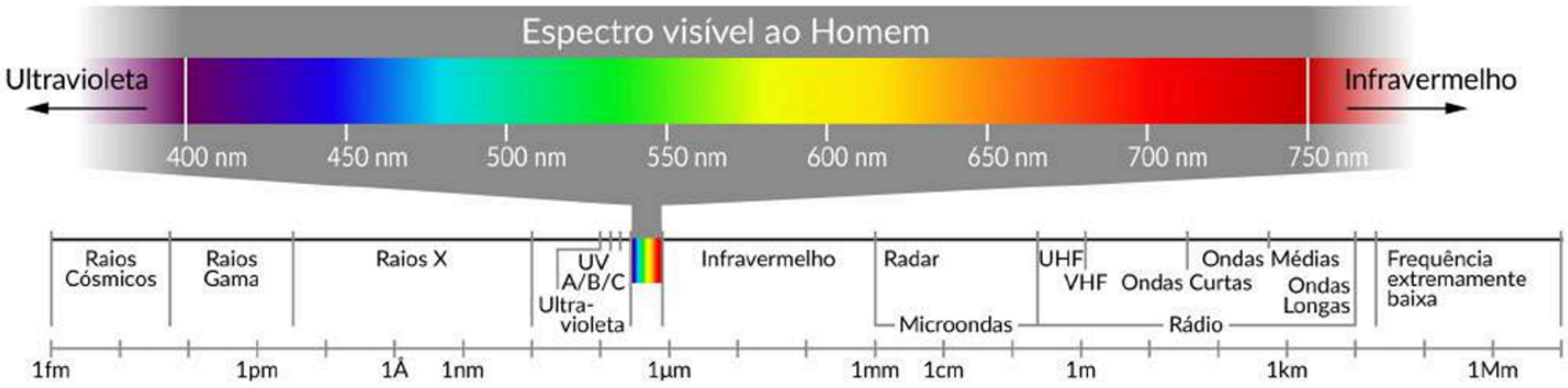
2 Destaques e mercado

- Destaques: Minas Gerais, Bahia, Piauí, Ceará, Goiás.
- Expansão de usinas solares e geração distribuída (residencial).



Energia do Sol e como entender

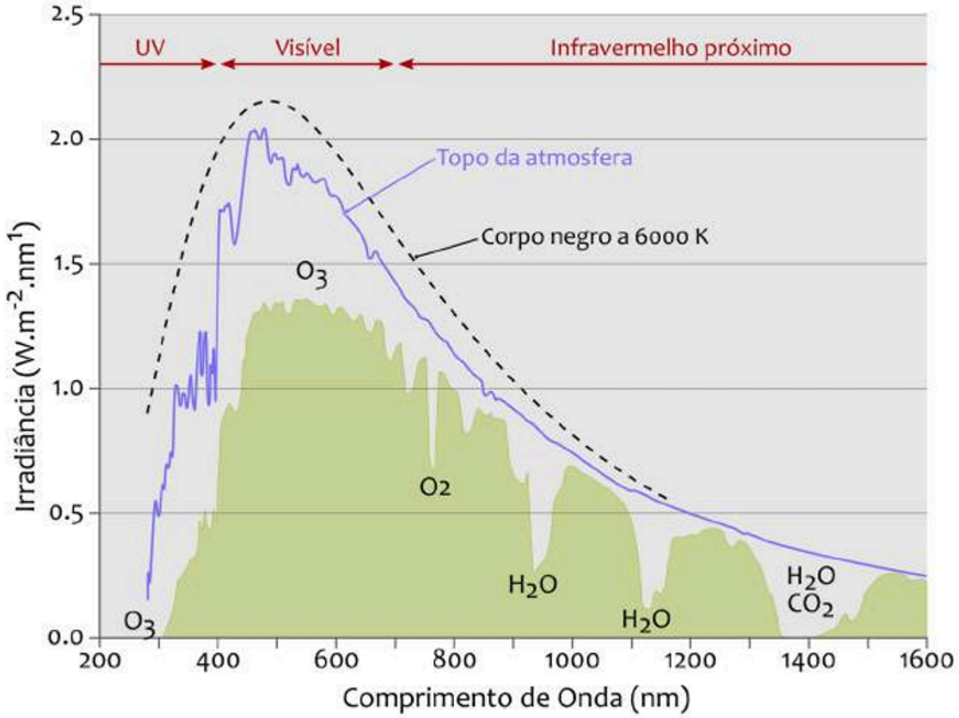
Espectro Eletromagnético

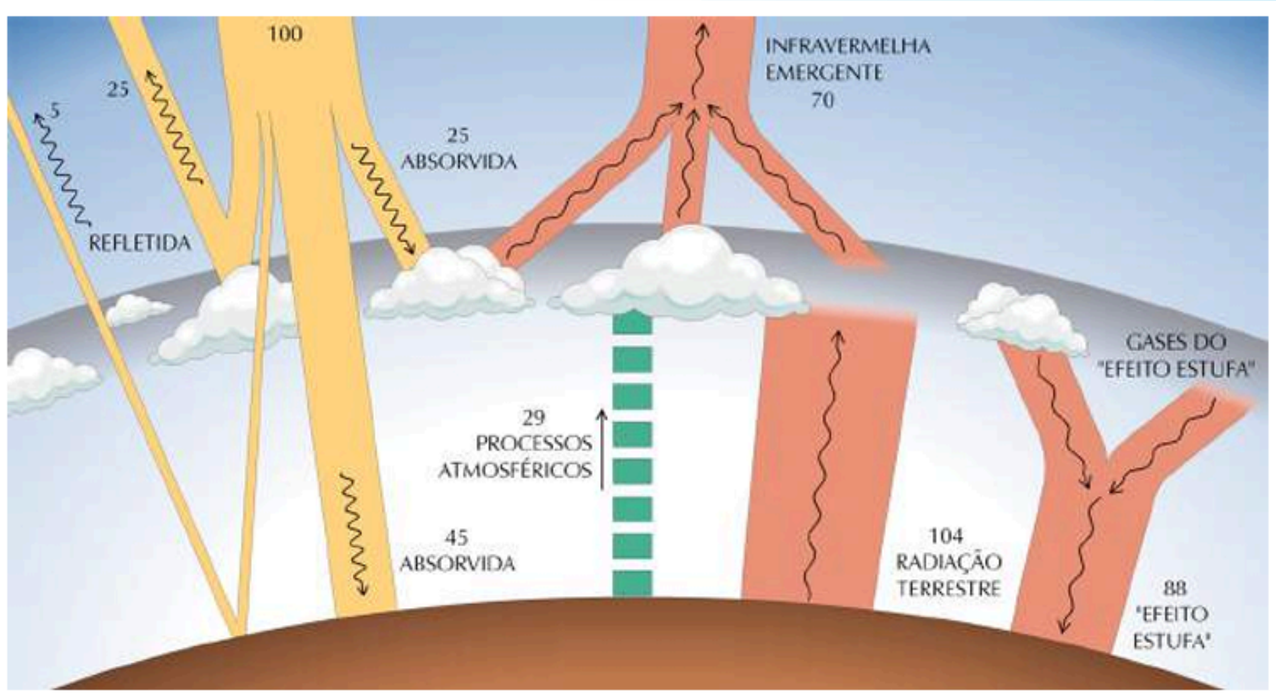


- A energia irradiada pelo Sol cobre uma ampla faixa do espectro eletromagnético. Cerca de 81% da energia que chega ao Sistema Terra/Atmosfera está em uma faixa de comprimentos de onda que vai do **visível ao infravermelho próximo.**

Visit Our Website
www.reallygreatsite.com

Energia do Sol e como entender

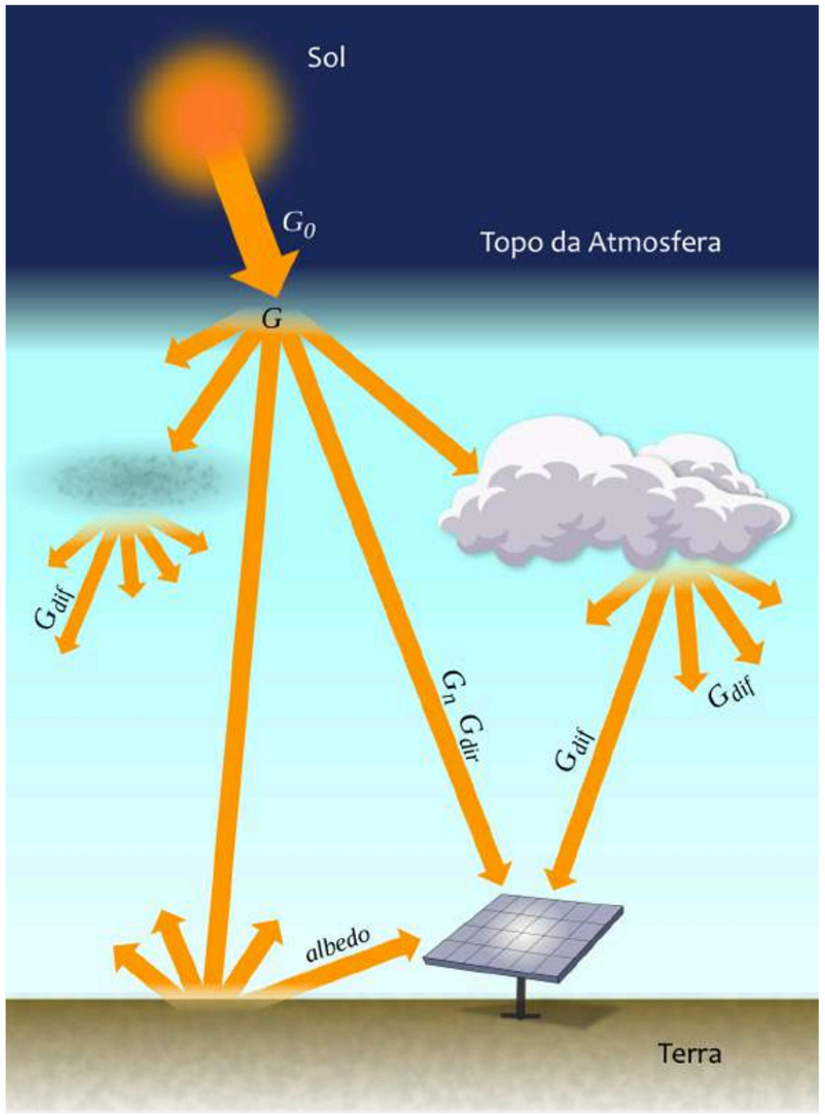




- A irradiância (potência emitida pelo sol por unidade de área) na camada exterior da atmosfera é de **1365 W/m2**.
- Este valor é fortemente atenuado, por causa da absorção de algumas bandas do espectro solar, devido à presença de diferentes gases na atmosfera. Em condições padrão, correspondente a um ângulo de incidência dos raios solares de φ = 48,2° em relação ao zênite e a irradiância ≅ **1000 W/m2**
- O espectro solar apresenta maior irradiância na região do visível entre **400 e 800 nm**, entretanto, a região mais eficiente de resposta da célula solar de Si-c está em torno de **1000 nm**(Infravermelho).

Entendendo a irradiância

A irradiância solar (W/m2) que incide em uma superfície é composta por suas **componentes direta e difusa**. A irradiância solar direta apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície e o Sol e representa a parcela que não sofreu os **processos radiativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera**. A componente difusa engloba a radiação proveniente de todas as demais direções que são decorrentes dos processos de espalhamento pelos gases e particulados presentes na atmosfera.



- **Irradiância extraterrestre (G0);**
- **Irradiância direta normal (Gn);**
- **Irradiância difusa horizontal (Gdif);**
- **Irradiância direta horizontal (Gdir);**
- **Irradiância global horizontal (G):** A irradiância global é dada pela soma G = Gdif + Gdir;
- **Irradiância no plano inclinado (Gi).**

Irradiância no Brasil

REGIÃO NORTE

Irradiação Global Horizontal
4,64 kWh/m².dia | 1693 kWh/m².ano

Irradiação no Plano Inclinado
4,66 kWh/m².dia | 1701 kWh/m².ano

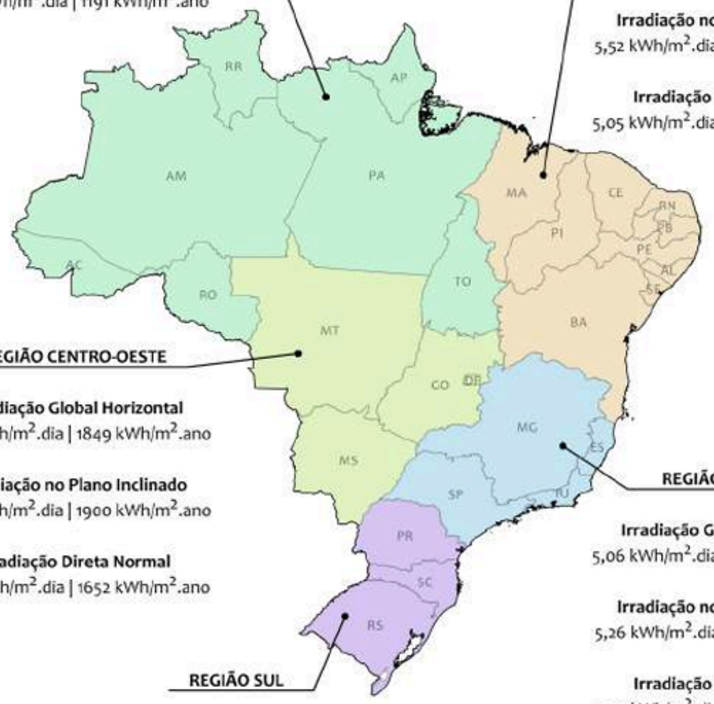
Irradiação Direta Normal
3,26 kWh/m².dia | 1191 kWh/m².ano

REGIÃO NORDESTE

Irradiação Global Horizontal
5,49 kWh/m².dia | 2003 kWh/m².ano

Irradiação no Plano Inclinado
5,52 kWh/m².dia | 2015 kWh/m².ano

Irradiação Direta Normal
5,05 kWh/m².dia | 1844 kWh/m².ano



REGIÃO CENTRO-OESTE

Irradiação Global Horizontal
5,07 kWh/m².dia | 1849 kWh/m².ano

Irradiação no Plano Inclinado
5,20 kWh/m².dia | 1900 kWh/m².ano

Irradiação Direta Normal
4,53 kWh/m².dia | 1652 kWh/m².ano

REGIÃO SUDESTE

Irradiação Global Horizontal
5,06 kWh/m².dia | 1846 kWh/m².ano

Irradiação no Plano Inclinado
5,26 kWh/m².dia | 1918 kWh/m².ano

Irradiação Direta Normal
4,75 kWh/m².dia | 1733 kWh/m².ano

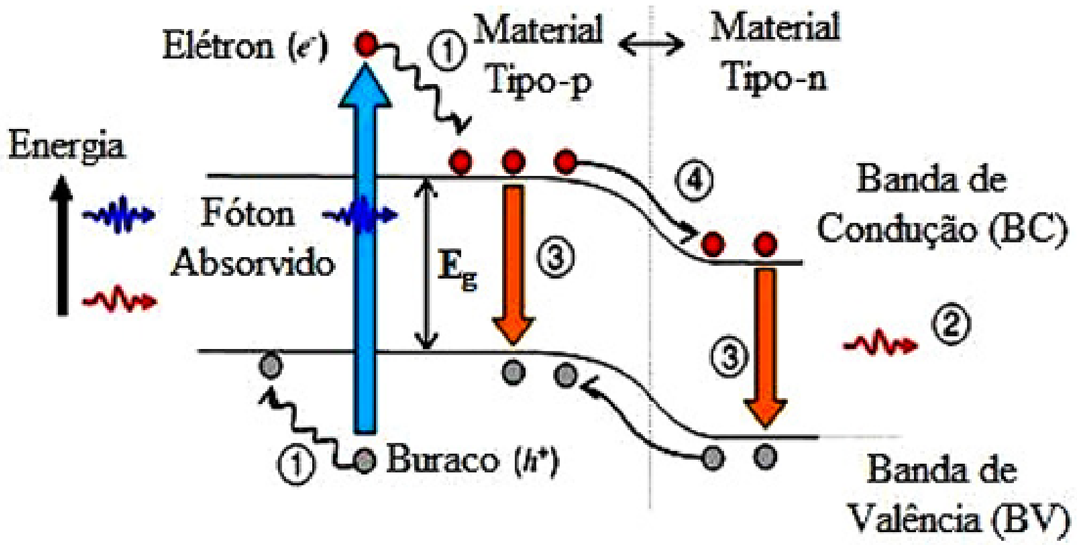
REGIÃO SUL

Irradiação Global Horizontal
4,53 kWh/m².dia | 1654 kWh/m².ano

Irradiação no Plano Inclinado
4,77 kWh/m².dia | 1743 kWh/m².ano

Irradiação Direta Normal
4,20 kWh/m².dia | 1532 kWh/m².ano

Fatores de perdas de eficiências - Físicos e Ópticos



1. **Perda por termalização para Rede (Temperatura):** Representam **47% das perdas**. Mais crítica nos comprimentos de onda <600nm, onde a intensidade do espectro solar é maior.
2. **Perda por transparência:** Representa **18,5% das perdas totais na célula**. Os comprimentos de onda maiores do que 1100 nm são transparentes para célula - Não são absorvidos.
3. **Perda por recombinação radiativa:** Causadas pela emissão de fótons produzidos pela recombinação radiativa de pares de elétron-buraco (éxcitons), que decaem radiativamente na escala de milissegundos, emitindo fótons na região do infravermelho.
4. **Perdas na junção:** Na junção, ocorre a difusão de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n; este deslocamento de cargas origina um campo elétrico que cria uma barreira ao movimento e cessa o fluxo de elétrons e buracos. Com isso, a região próxima à junção no lado p se torna deficiente de buracos e no lado n se torna deficiente de elétrons.

Fatores de perdas de eficiências – Físicos e Ópticos

5. **Reflexão – Parte da luz é refletida, não entra na célula.**
6. **Sombra e Poeria** – Bloqueada a parte da Luz, diminuindo a geração.
7. **Inclinação das placas solares:**
   - Painéis devem ser inclinados conforme a **latitude local.**
     - Ex: Dourados (MS) → latitude ≈ 22° → inclinação ótima ≈ 22°.
     - Ajuste sazonal opcional:
       - Verão: -10° (menor ângulo)
       - Inverno: +10° (maior ângulo)
8. **Orientação geográfica das placas:**
   - Hemisfério Sul: orientação para o norte geográfico (azimute = 0°).
   - Desvios acima de 15° reduzem eficiência.
   - Sistemas com rastreamento solar acompanham o movimento do Sol (maior custo).

Visit Our Website
www.reallygreatsite.com

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE PLACAS

- **1º Passo:** Calcular o consumo médio mensal

$$\frac{\textbf{Soma todas os consumos}}{12} =$$

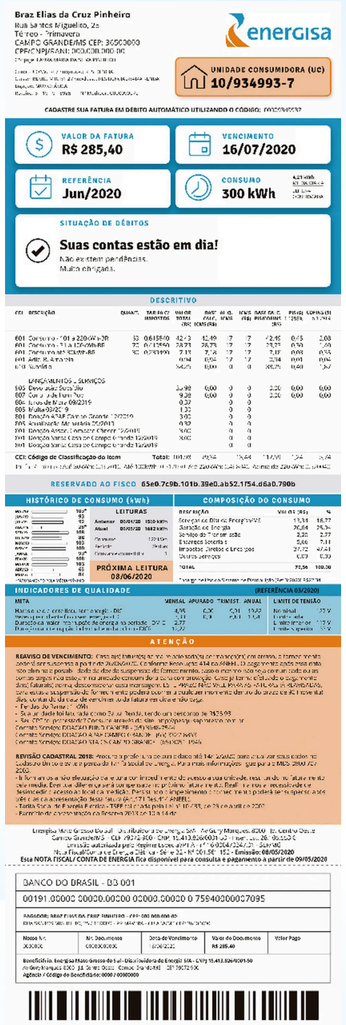
$$\frac{2.703}{12} = 255{,}25\ \text{kWh/mês}$$

~300 kWh/mês

- **2º Passo:** Calcular o consumo médio diário

$$\frac{300}{30} = 10\ \text{kWh/dia}$$

MÊS	CONSUMO FATURADO
JUN/25	216,00 *
MAI/25	247,00 *
ABR/25	233,00 *
MAR/25	283,00 *
FEV/25	257,00 *
JAN/25	211,00 *
DEZ/24	279,00 *
NOV/24	205,00 *
OUT/24	214,00 *
SET/24	188,00
AGO/24	178,00 *
JUL/24	194,00 *
JUN/24	168,00 *



CÁLCULO DA QUANTIDADE DE PLACAS

- 3º Passo: Encontrar a irradiação média diária

Dourados/MS 22° 13′ 15″ S, 54° 48′ 21″ O

Site: https://cresesb.cepel.br/

Coordenada Geográfica

Latitude 22.221666666 Sul

Longitude 54.806388888 Oeste

Norte:

- (●) graus decimais (00.00°)
- ( ) graus, minutos e segundos (00°00'00")

Buscar Limpar

I. Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste.
Em caso de dúvida entre em contato conosco.

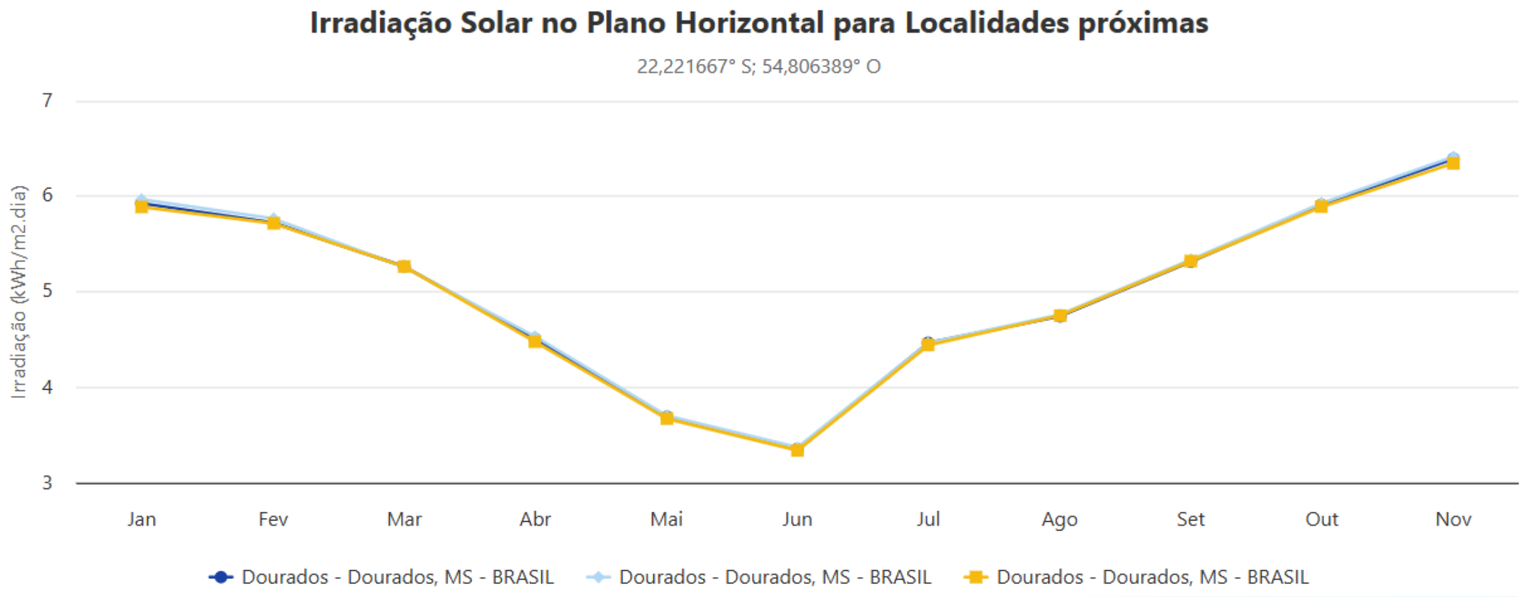
CÁLCULO DA QUANTIDADE DE PLACAS

- **3º Passo:** Encontrar a irradiação média diária

Localidades próximas

Latitude: 22,221667° S
Longitude: 54,806389° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Dourados	Dourados	MS	BRASIL	22,201° S	54,849° O	5,0	5,92	5,72	5,26	4,51	3,69	3,35	3,49	4,46	4,74	5,32	5,91	6,39	4,90	3,04
☑	Dourados	Dourados	MS	BRASIL	22,201° S	54,749° O	6,3	5,97	5,77	5,26	4,53	3,70	3,37	3,50	4,46	4,76	5,33	5,93	6,41	4,92	3,04
☑	Dourados	Dourados	MS	BRASIL	22,301° S	54,849° O	9,9	5,89	5,72	5,26	4,48	3,67	3,34	3,47	4,44	4,75	5,32	5,89	6,34	4,88	3,01



CÁLCULO DA QUANTIDADE DE PLACAS

- **3º Passo:** Encontrar a irradiação média diária

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Dourados
Município: Dourados , MS - BRASIL
Latitude: 22,201° S
Longitude: 54,849° O
Distância do ponto de ref. (22,221667° S; 54,806389° O) :5,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	5,92	5,72	5,26	4,51	3,69	3,35	3,49	4,46	4,74	5,32	5,91	6,39	4,90	3,04
☑	Ângulo igual a latitude	22° N	5,37	5,47	5,41	5,08	4,50	4,27	4,36	5,24	5,04	5,19	5,42	5,68	5,09	1,41
☑	Maior média anual	19° N	5,47	5,53	5,43	5,03	4,42	4,17	4,27	5,17	5,03	5,24	5,52	5,81	5,09	1,64
☑	Maior mínimo mensal	38° N	4,66	4,94	5,16	5,14	4,78	4,64	4,69	5,44	4,91	4,77	4,75	4,86	4,90	,80

5,09 kWh/m².dia

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE PLACAS

- **4º Passo:** Definir a eficiência do sistema:
  - Geralmente temos 25% de perdas;
  - Logo sistema tem 75% de Eficiência - Média. **(0,75)**

- **5º Passo:** Potência do sistema de energia solar fotovoltaico:

$$P_{FV}(kWp) = \frac{\textbf{Consumo diário}}{\textbf{(Eficiência X Irr. média)}}$$

$$P_{FV}(kWp) = \frac{10}{0{,}75X5{,}09} = 2{,}62\ kWp$$

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE PLACAS

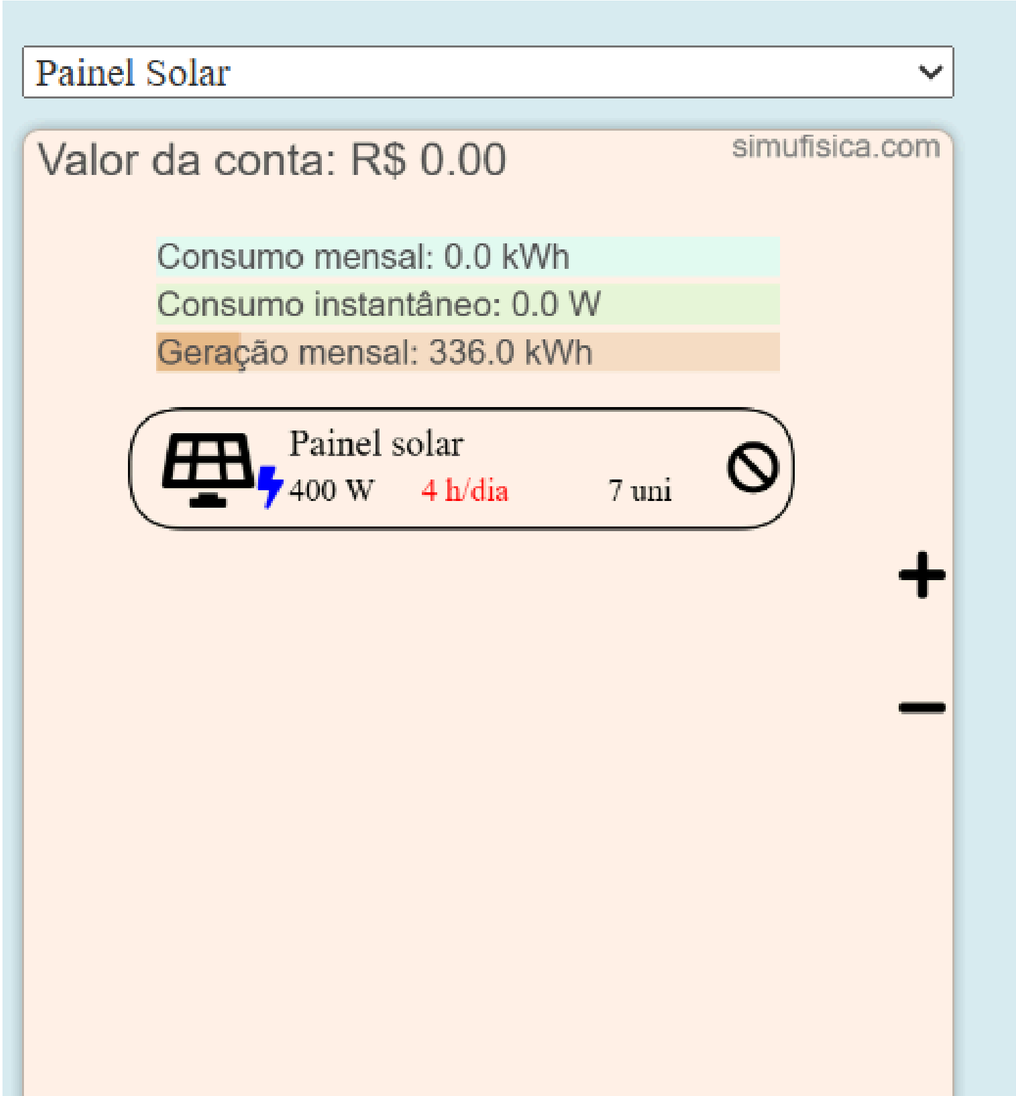
- **6º Passo:** Encontrar o número de placas para o sistema:
  - Escolhemos que nosso painel tem potência de 400 Wp;

$$\text{Nº de Placas} = \frac{P_{FV}(kWp)}{\text{Potência do painel}}$$

$$\text{Nº de Placas} = \frac{2620}{400} = 6{,}55$$

~7 Placas

USANDO UM SIMULADOR



Prof. Gabriela Rosa

Obrigada!

Apêndice B

No Apêndice, encontra-se disponibilizado o material em formato de slides utilizado na palestra técnica durante a aplicação do produto educacional, elaborado com o objetivo de complementar a abordagem conceitual e aprofundar aspectos técnicos relacionados à temática da energia solar fotovoltaica.

Energia solar

Economia sustentável para a toda a vida!

ENERGIA SOLAR
ENERGY
PRIME

Quem Sou eu?

- Tatiane Barbosa
- 30 anos
- Casada com Rafael
- Mamãe do Luiz Otávio
- Empresária há 8 anos
- Engenheira de Energia - formada pela UFGD
- Engenheira de Segurança do Trabalho
- Fundadora da Energy Prime
- Amo viajar e conhecer novas culturas

Empresária

Eventos

Engenheira

Família

Marido e Sócio

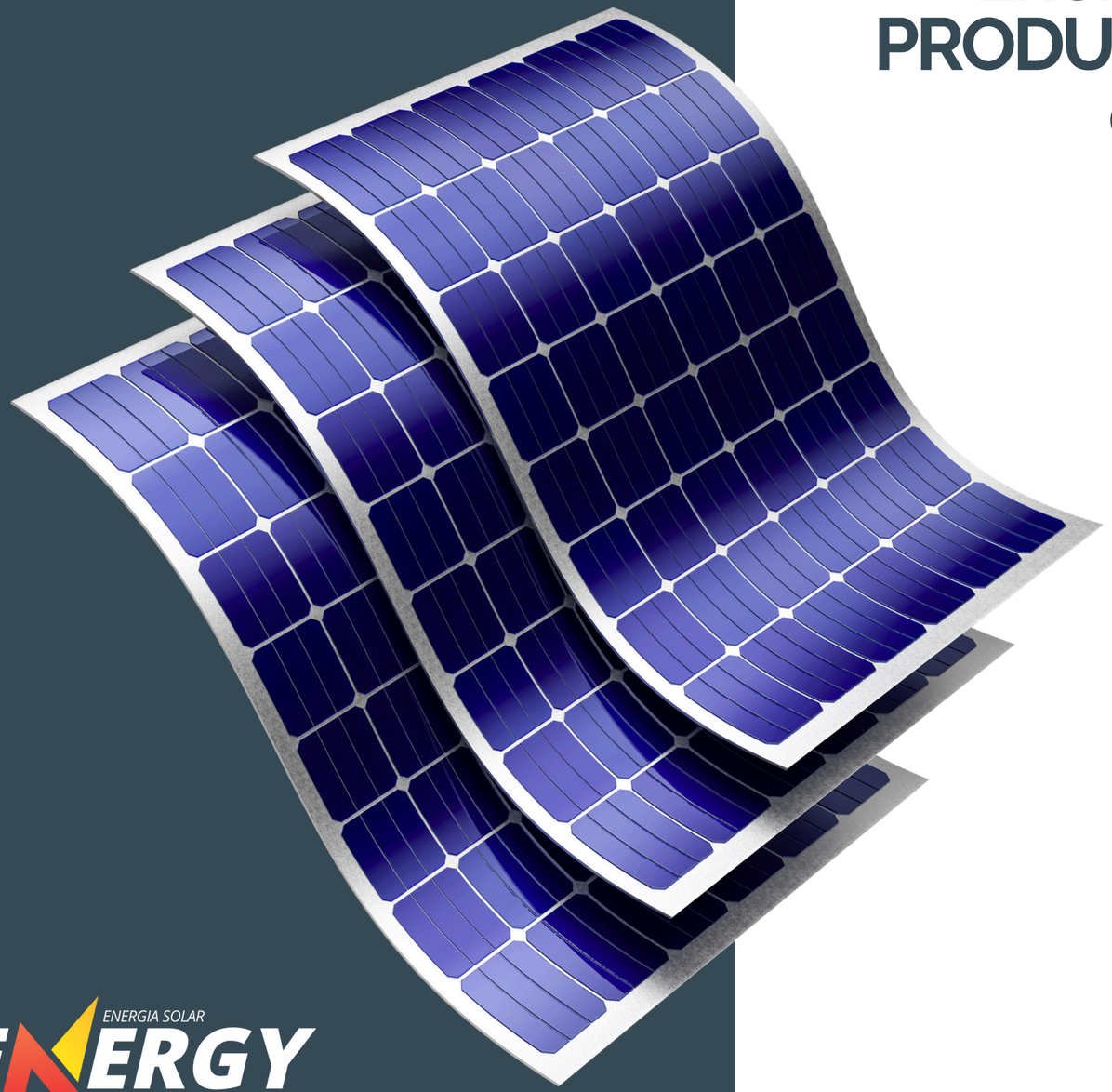
Início

New York

China

Nossa Missão

A Energy Prime tem missão de disseminar o conceito de energia solar, conscientizando a sociedade tanto pela economia financeira quanto pela colaboração ao meio ambiente e às próximas gerações.



Energia Solar não é CATÁLOGO DE PRODUTOS ou WATTS .... é compromisso de 25 anos com resultado.

- + 8 anos de mercado
- + 1000 projetos instalados
- Pós-venda Premium
- Equipamentos de Alta Performance
- Equipe Própria de Engenharia e Instalações
- Financiamentos Flexíveis e com carência
- Atuação 360º

ENERGIA SOLAR
ENERGY PRIME

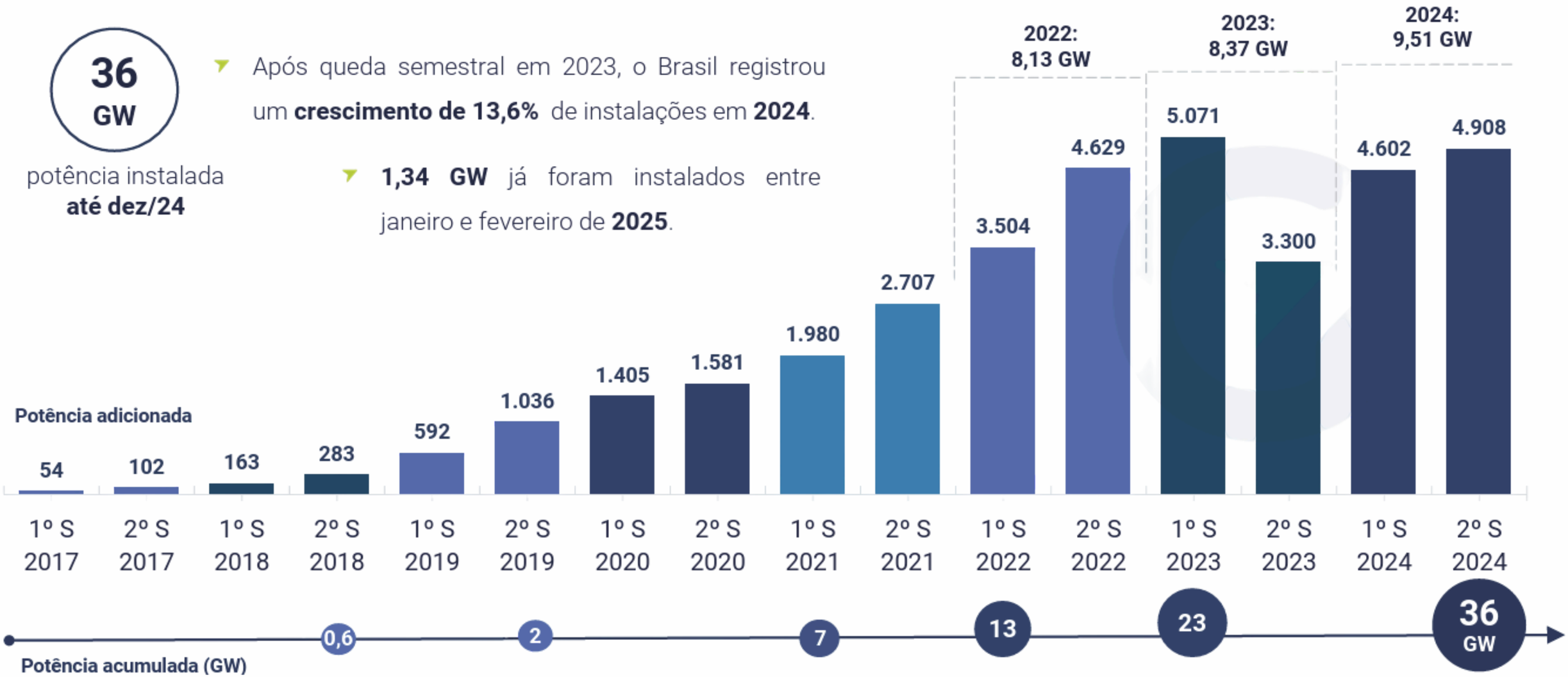
EVOLUÇÃO DA GD NO BRASIL

Potência adicionada e acumulada (MW) por semestre*

36 GW

potência instalada **até dez/24**

- Após queda semestral em 2023, o Brasil registrou um **crescimento de 13,6%** de instalações em **2024**.
- **1,34 GW** já foram instalados entre janeiro e fevereiro de **2025**.



Recolha dos documentos

Contrato assinado

Projeto

Protocolo junto a concessionária

Troca do medidor pela concessionária

ENTREGA FINAL

Proposta comercial

Gestão do Contrato

Vistoria Técnica

Entrega dos equipamentos

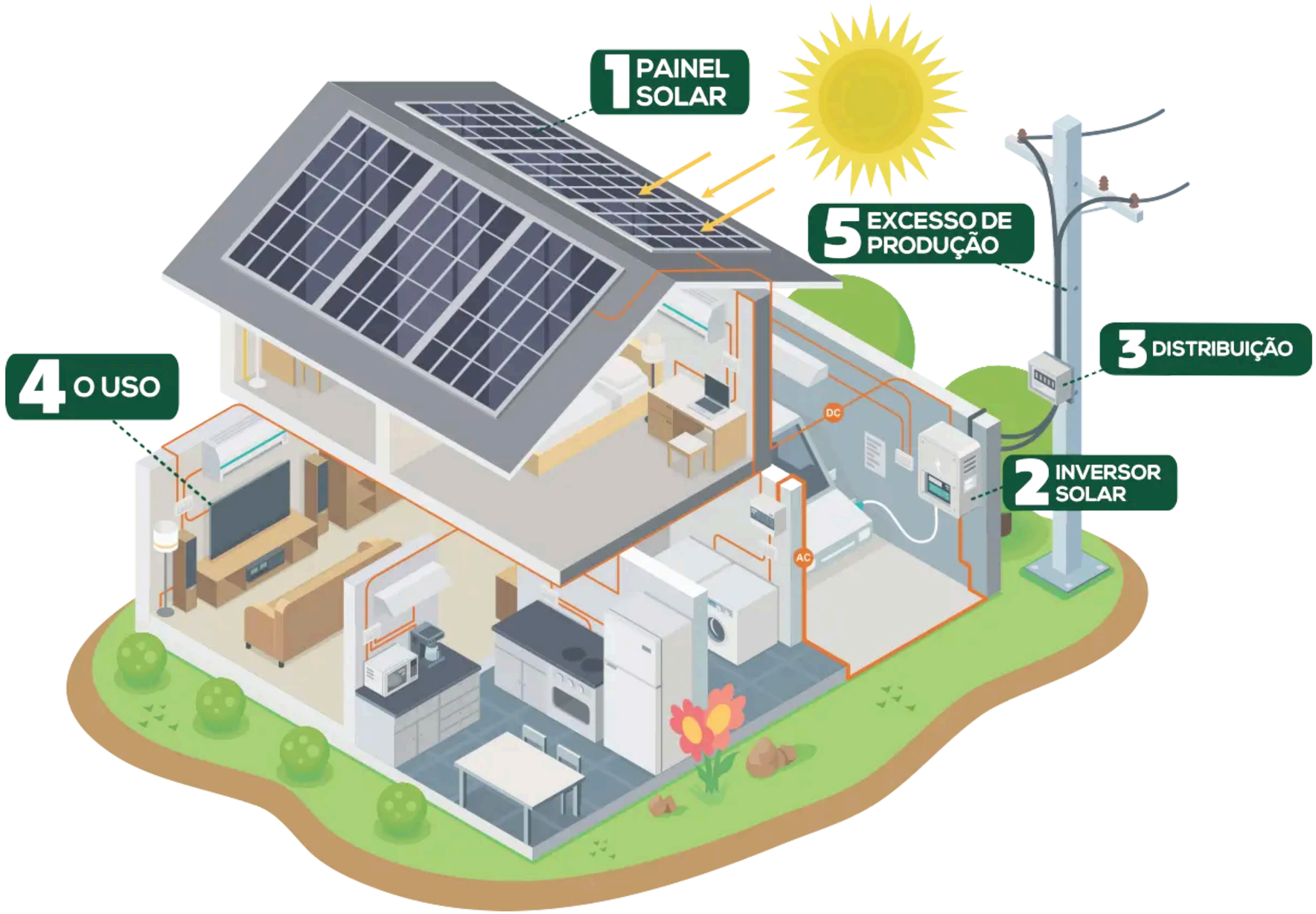
Instalação

Prazo Total: 120 dias

Entenda o processo...

ENERGIA SOLAR
ENERGY PRIME

Funcionamento



ENERGIA SOLAR
ENERGY PRIME

Módulos Fotovoltaicos

Responsáveis por converter a luz do sol em eletricidade..

Monocristalino - Alta eficiência, cor uniforme (preto), melhor desempenho em menor área.

Policristalino - Custo mais baixo, coloração azulada, eficiência um pouco menor que o mono.

Half-cell - Reduz perdas por sombreamento e melhora eficiência.

Tier 1 - Fabricantes com histórico sólido, alta capacidade produtiva e estabilidade financeira.

TOPCon - Tecnologia avançada com maior eficiência e menor perda.

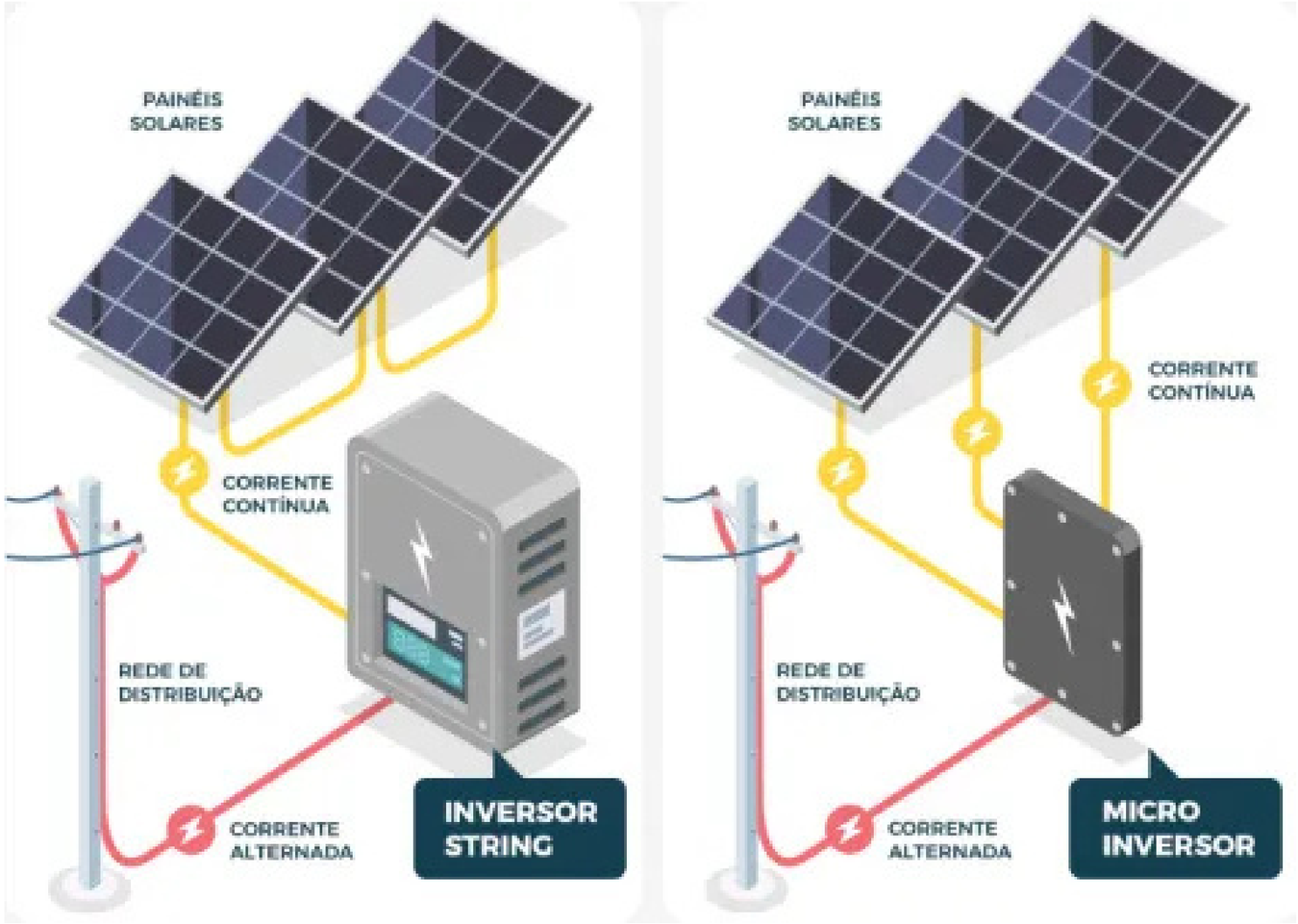
PERC - Camada extra que aumenta absorção de luz e eficiência.

Bifaciais - Captam luz na frente e atrás, aumentando geração em locais com reflexo.

HJT – Altíssima eficiência, baixa temperatura de operação, ótima em climas quentes; custo mais alto.

Inversores

Convertem a corrente contínua (CC) gerados pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA)

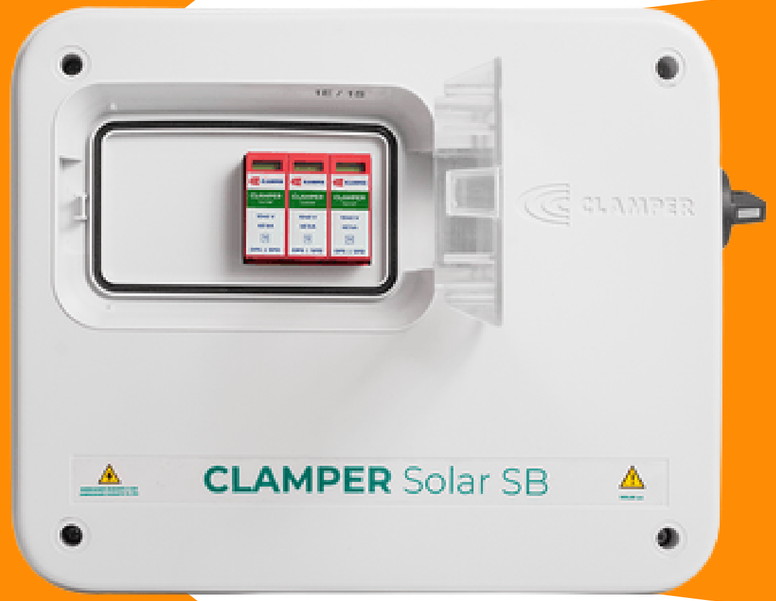


Existem dois tipos principais de investidores:

Inversores string (ou centrais): São conectados a várias séries (strings) demódulos fotovoltaicos. São mais comuns em sistemas de médio e grandeporte.

Microinversores: São instalados individualmente em cada módulofotovoltaico. Oferecem maior flexibilidade e eficiência, especialmente emsituações com sombreamento parcial.

String Box CC



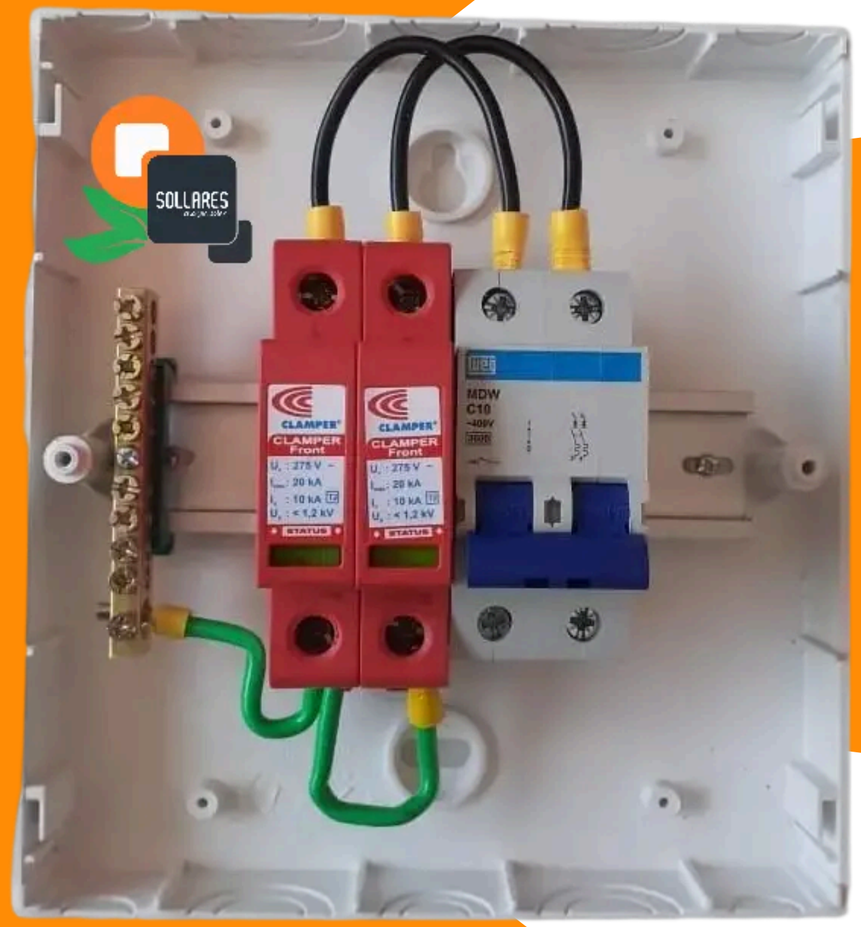
A string box de corrente contínua (CC) é um componente de proteção essencialem sistemas fotovoltaicos com inversores string. Ela contém dispositivos deproteção para o lado CC do sistema, incluindo:

1. **Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS):** Protegem o sistema contrapicos de tensão, como os causados por raios.
2. **Chave seccionadora:** Permite desconectar manualmente o circuito CC,facilitando a manutenção e aumentando a segurança.

A string box CC é geralmente instalada próxima ao inversor e deve serdimensionada de acordo com as características específicas do sistemafotovoltaico.

ENERGIA SOLAR
ENERGY
PRIME

String Box CA



Protege e secciona o circuito de saída do inversor antes de conectar à rede elétrica da concessionária.

Importância:

- Protege contra sobrecorrentes e surtos no lado de corrente alternada.
- Facilita intervenções e manutenções sem riscos para o técnico.
- Garante a conformidade com normas de segurança elétrica e exigências da concessionária.

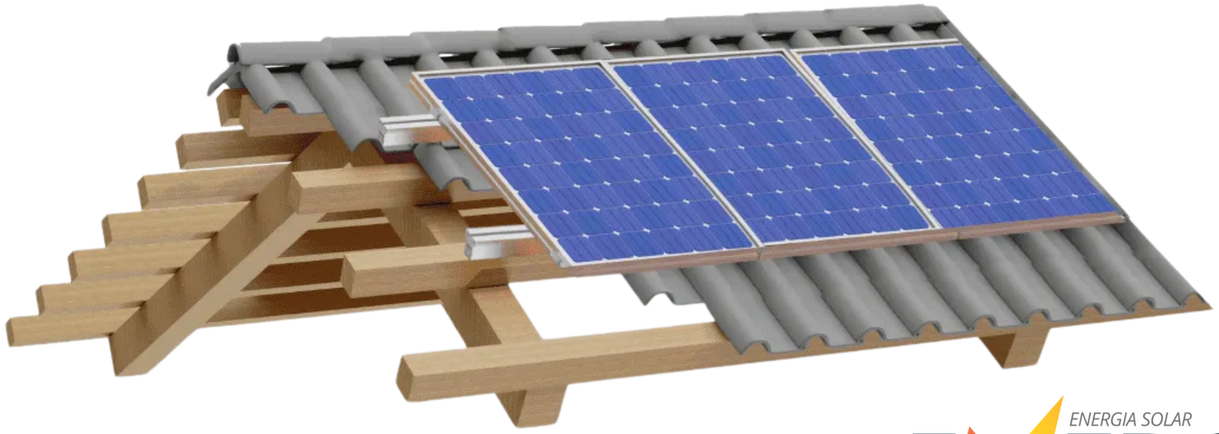
Essas proteções podem ser instaladas em um quadro separados ou juntamente com o quadro de distribuição já existente no local, desde que sejam próximos e tenha espaço disponível.

ENERGIA SOLAR
ENERGY
PRIME

Estrutura DE FIXAÇÃO

Uma estrutura de fixação é um componente frequentemente subestimado, masessencial para o sucesso e longevidade de um sistema fotovoltaico. Ela é responsável por fixar os módulos solares de forma segura e na orientação ideal para maximizar a captação de luz solar.

- **Segurança da Instalação**
- **Prevenção de Problemas**
- **Conformidade Técnica**
- **Evita Prejuízos, Retrabalhos e Atrasos**
- **Credibilidade**



ENERGIA SOLAR
ENERGY
PRIME

ENERGIA SOLAR
ENERGY
PRIME

Dimensionamento e Projeto

O dimensionamento correto de um sistema fotovoltaico é crucial para garantirseu desempenho ótimo e retorno do investimento. Alguns fatores importantes aconsiderar incluem:

- Consumo de energia do local
- Área disponível para instalação
- Orientação e inclinação dos módulos
- Sombreamento
- Legislação local e regulamentações da concessionária de energia

Um projeto bem elaborado deve levar em conta todos esses fatores, além deconsiderar a qualidade e compatibilidade de todos os componentes do sistema..

Sistemas On Grid

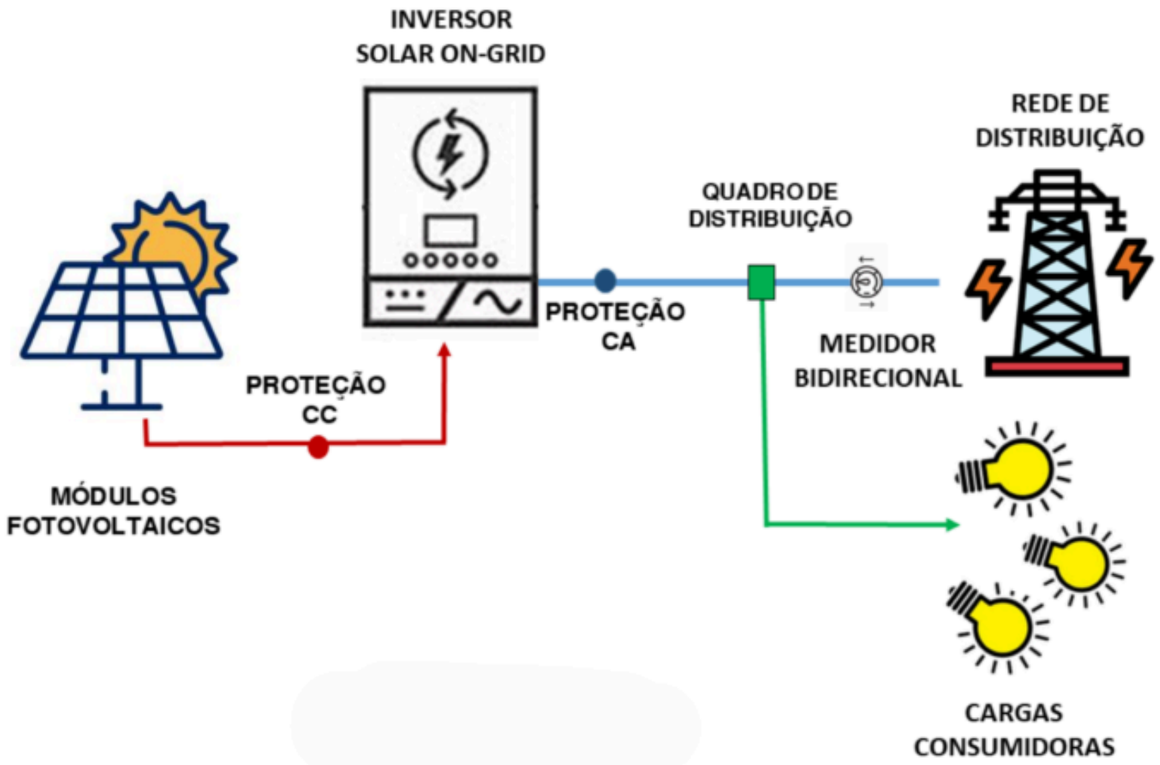
Sistemas conectados àrede, são atualmente os mais difundidos e instalados no Brasil.

Componentes Principais

- Painéis solares
- Inversor string
- Cabeamento e proteções elétricas
- Medidor bidirecional

Vantagens

- .Menor custo de instalação em comparação com sistemas com baterias
- Possibilidade de utilizar os créditos gerados em outras unidadesconsumidoras do mesmo titular
- Manutenção simples e baixo custo operacional



ENERGIA SOLAR
ENERGY
PRIME

Sistemas Off Grid

Vantagens

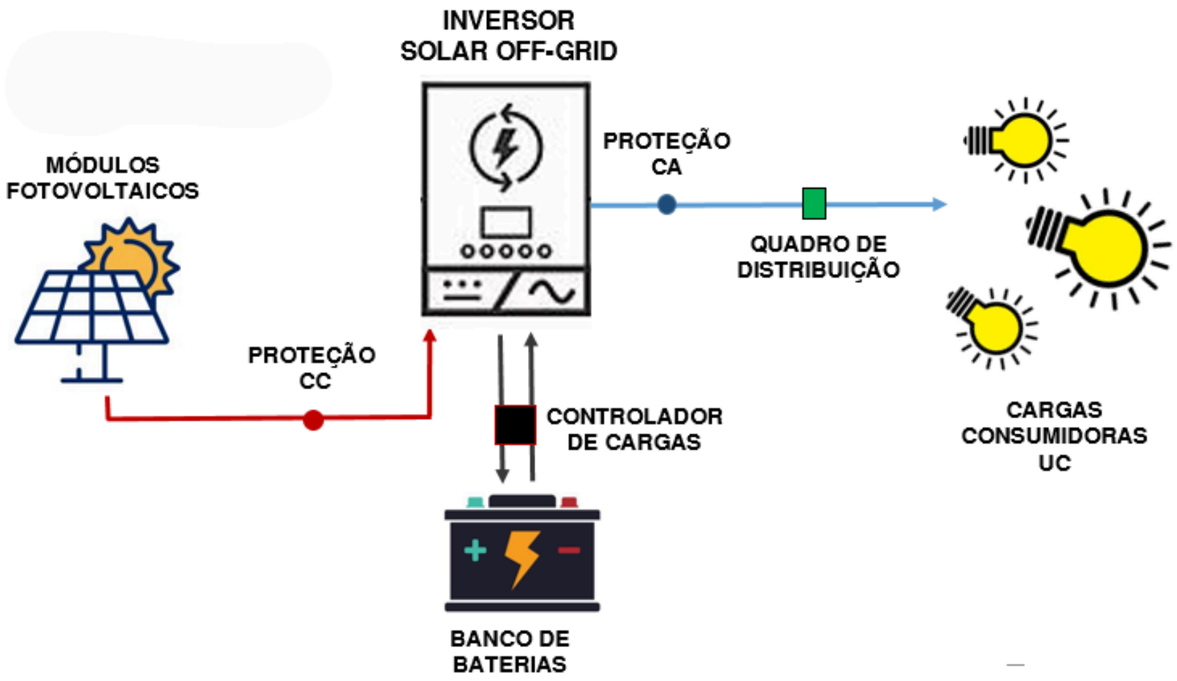
- Independência total da rede elétrica
- Possibilidade de eletrificação em áreas sem infraestrutura
- Energia disponível 24 horas por dia, mesmo sem sol

Desafios

- Custo inicial mais elevado devido às baterias
- Necessidade de dimensionamento preciso para atender a demanda
- Substituição periódica das baterias (a cada 5-8 anos em média)

Aplicações

- Sítios e fazendas distantes da rede elétrica
- Sistemas de bombeamento de água em áreas rurais
- Iluminação pública em comunidades isoladas
- Estações de telecomunicações remotas



ENERGIA SOLAR
ENERGY
PRIME

Sistemas Híbridos

Vantagens

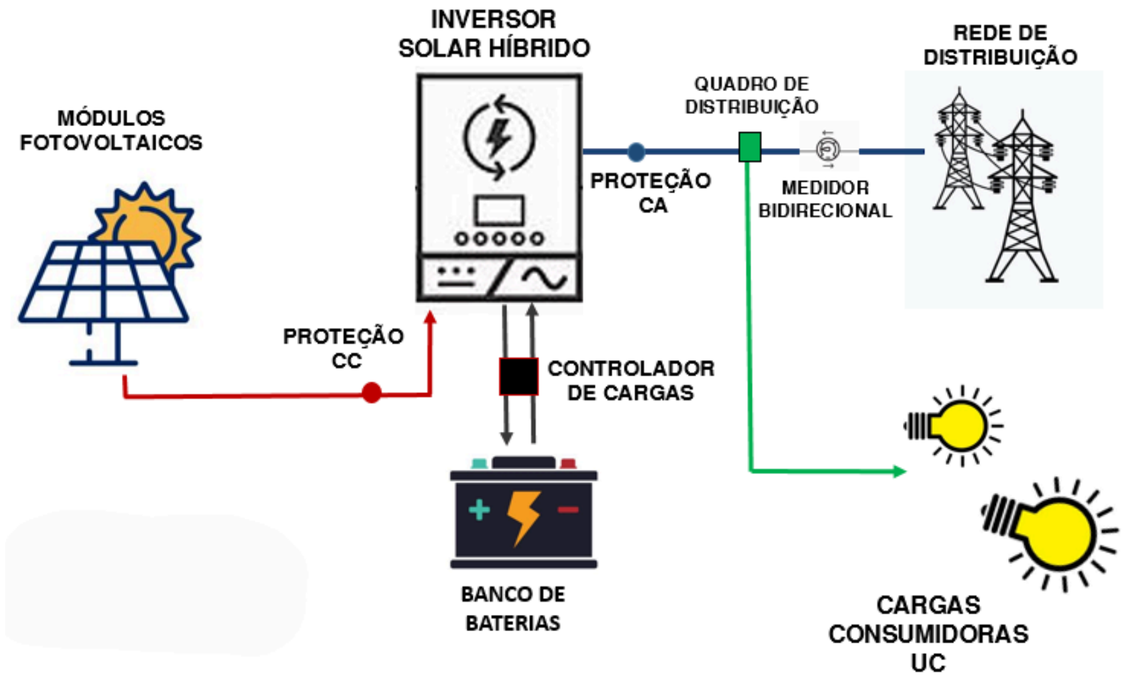
- Maior confiabilidade e segurança energética
- Possibilidade de manter cargas essenciais funcionando durante blackouts
- Otimização do consumo de energia da rede

Considerações

- Custo mais elevado devido à inclusão de baterias e inversores especiais
- Complexidade maior na instalação e configuração
- Potencial de economia a longo prazo em áreas com tarifas de energiavariáveis

Aplicações

- Residências com equipamentos médicos vitais
- Estabelecimentos comerciais que não podem interromper suas atividades



ENERGIA SOLAR
ENERGY
PRIME

Desafios e Perspectivas Futuras

- **Regulação em Evolução**

O marco regulatório da geração distribuída ainda está em processo deconsolidação. Mudanças nas regras, como a recente Lei 14.300/2022, podemimpactar a viabilidade econômica dos projetos.

- **Integração à Rede**

O aumento expressivo de fontes intermitentes como a solar exige adaptações nainfraestrutura e na operação do sistema elétrico para garantir estabilidade equalidade do fornecimento.

- **Armazenamento de Energia**

O desenvolvimento de tecnologias de armazenamento (baterias) mais eficientese acessíveis será crucial para maximizar o aproveitamento da geração distribuída.

- **Capacitação Profissional**

A rápida expansão do setor demanda formação acelerada de mão-de-obraqualificada para projeto, instalação e manutenção dos sistemas.

- **Reciclagem e Logística Reversa**

Com o aumento do número de instalações, cresce a preocupação com o descarteadequado de painéis solares e baterias ao fim de sua vida útil.

Torne o lugar que você vive mais sustentável!

Pense no futuro!

ENERGIA SOLAR
ENERGY PRIME

CAMPANHA

Patinete Elétrico

Regra:

- Cada indicação VÁLIDA gera 1 número da sorte.

Energia que move

SCAN HERE

O resultado do sorteio será divulgado em nosso perfil

ENERGIA SOLAR
ENERGY
PRIME

Agradeço pela atenção!