

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
(MNPEF)

Alberto da Silva Seguro

**ENSINANDO ENERGIA SOLAR COM AMBIENTE VIRTUAL DE
APRENDIZAGEM, DEMONSTRAÇÕES, EXPERIMENTOS E
JOGOS**

Santo André - SP

2019

Alberto da Silva Seguro

**ENSINANDO ENERGIA SOLAR COM AMBIENTE VIRTUAL DE
APRENDIZAGEM, DEMONSTRAÇÕES, EXPERIMENTOS E
JOGOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do ABC, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Nelson Studart

Santo André - SP

2019

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC
Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Seguro, Alberto da Silva

Ensinando Energia Solar com Ambiente Virtual de Aprendizagem,
Demonstrações, Experimentos e Jogos / Alberto da Silva Seguro. —
2019.

89 fls. : il.

Orientador: Nelson Studart

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Santo André,
2019.

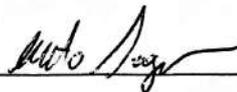
1. Energia Solar. 2. Fusão Nuclear. 3. Radiação Eletromagnética.
4. Célula Fotovoltaica. 5. Ambiente Virtual de Aprendizagem. I.
Studart, Nelson. II. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de
Física - MNPEF, 2019. III. Título.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do(a) autor(a) e com a anuência do(a) orientador(a).

Santo André/ SP

11 de Dezembro de 2019

Assinatura do(a) autor(a):



Assinatura do(a) orientador(a):





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Fundação Universidade Federal do ABC

Avenida dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP
CEP 09210-580 · Fone: (11) 4996-0017

FOLHA DE ASSINATURAS

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato, ALBERTO DA SILVA SEGURO realizada em 06 de Dezembro de 2019:

André Vieira

Prof.(a) ANDRÉ VIEIRA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Giovana S. Nogueira

Prof.(a) GIOVANA NOGUEIRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

Prof.(a) DEBORA COIMBRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Prof.(a) MARCELO AUGUSTO LEIGUI DE OLIVEIRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

N. Studart

Prof.(a) NELSON STUDART FILHO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - Presidente

* Por ausência do membro titular, foi substituído pelo membro suplente descrito acima: nome completo, instituição e assinatura



Universidade Federal do ABC

Este trabalho é dedicado a todos os professores de Física que conseguem superar todos os obstáculos e mostrar aos estudantes o lado mais fascinante dessa Ciência.

Agradecimentos

Meus agradecimentos são direcionados ao meu Orientador e Professor Nelson Stuardt por acreditar e ajudar a transformar o meu projeto em realidade, aos Professores Célio Adrega de Moura Junior, Graciella Watanabe, Jean Jacques Bonvent, José Antonio Souza, José Kenichi Mizukoshi, Laura Paulucci Marinho, Marcelo Oliveira da Costa Pires e Pedro Galli Mercadante, os colegas da turma de 2017 e todos aqueles que contribuíram de alguma forma para minha sólida formação neste programa de mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, a qual, junto à Universidade Federal do ABC e à Sociedade Brasileira de Física, direciono meus agradecimentos especiais por terem contribuído, e ainda contribuirão, com todo o suporte necessário para a formação de Mestres em Ensino de Física no Brasil.

Agradeço com amor à minha esposa Ivone, minha filha Victoria e meu filho Vinicius pela paciência e compreensão de minha ausência durante a realização desse projeto.

E, agradeço acima de tudo a Deus, pela sabedoria e força que me foi dada para seguir em frente e não desistir durante esse longo caminho percorrido repleto de obstáculos.

[...] o ensino mais adequado só poderá ser levado a cabo nas situações em que houver um relacionamento pessoal direto entre o estudante e o bom professor – situações nas quais o estudante discuta as ideias, reflita e converse sobre elas. É impossível aprender muita coisa simplesmente comparecendo a uma palestra ou mesmo limitando-se a resolver os problemas determinados [...]

(Richard P. Feynman, Lições de Física)

Resumo

Entre os desafios da atualidade, o ensino de uma Física contemporânea, interessante e contextualizada é essencial para a aprendizagem significativa dessa Ciência pelos estudantes do Ensino Médio. Fundamentada nessa ideia, essa dissertação apresenta uma proposta de ensino sobre o tema Energia Solar, dividido em três eixos de estudo, sendo o primeiro, a produção da energia no Sol, o segundo eixo, a propagação dessa energia pelo espaço e atmosfera da Terra, e no terceiro eixo, a captação dessa energia e transformação em eletricidade. A metodologia utilizada consistiu na criação de um curso híbrido sobre o tema com a disponibilização de um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), experimentos, jogos de quiz, entre outros, inseridos em uma Sequência Didática (SD). Esta SD fornece metodologias ativas inovadoras e diversificadas, baseadas no uso de dispositivos (computadores, tablets ou telefones celulares) para realizar previamente atividades disponíveis no AVA, e a seguir, atividades e discussões em sala de aula mediadas pelo(a) professor(a). O AVA foi construído de forma simples por meio de ferramentas como Google Sites, YouTube e Google Forms. Os jogos de quiz foram criados no Kahoot e o simulador usado é do PhET. Todas as plataformas e ferramentas descritas podem ser acessadas gratuitamente na internet, sendo as mesmas de fácil utilização para a criação de material educacional, não requerendo qualquer conhecimento específico de linguagens de programação. Assim, professores podem desenvolver seus materiais educacionais em um AVA de forma semelhante, usando apenas criatividade e internet.

Palavras-chaves: energia solar, fusão nuclear, radiação eletromagnética, células fotovoltaicas, ambiente virtual de aprendizagem.

Abstract

Among the challenges of today, the teaching of a contemporary, interesting and contextualized Physics is essential for meaningful learning of this Science by high school students. Based on this idea, this dissertation presents a teaching proposal on Solar Energy, distributed along three lines of study. The first one deals on the production of energy in the sun, the second one, on the propagation of this energy through the space and Earth's atmosphere, and the third line considers the absorption of this energy and its transformation into electricity. The methodology consisted in the creation of a hybrid course on the subject with the availability of a Virtual Learning Environment (VLE), experiments, quiz games, among others, inserted in a Teaching Sequence (TS). This TS provides innovative and diversified active methodologies based on the use of gadgets (computers, tablets or mobile phones) to perform previously the activities available in the VLE, and in the following, classroom activities and discussions mediated by the teacher. VLE was built simply using Google Sites, YouTube, and Google Forms. Quizzes games were created in Kahoot and the simulator used is from PhET. All platforms and tools described can be accessed for free on the internet. These tools are quite easy to use for creating educational material, not requiring any specific knowledge of programming languages. Therefore, teachers can develop their educational materials in a VLE in a similar way, using only creativity and internet.

Keywords: solar energy, nuclear fusion, eletromagnetic radiation, photovoltaic cells, virtual learning environment.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Forno solar construído por Lavoisier em 1774	38
Figura 2 – Máquina com coletor solar parabólico exposta em Paris por Mouchot em 1878	38
Figura 3 – Planta de bombeamento de água construída no Egito, 1913	39
Figura 4 – Aquecedor solar de água residencial ou comercial	40
Figura 5 – Tela do simulador do efeito fotoelétrico	43
Figura 6 – Gráfico da tensão de corte em função da frequência para o alumínio e o antimônio.	43
Figura 7 – Diagrama esquemático da experiência com LEDs para determinação da constante de Planck	45
Figura 8 – Circuito do experimento para calcular a constante de Planck	46
Figura 9 – Gráfico do experimento para calcular a constante de Planck	46
Figura 10 –Energias liberadas nas reações da cadeia próton-próton	49
Figura 11 –Representação esquemática de um corpo negro	50
Figura 12 –Distribuição espectral da radiação térmica segundo lei de Rayleigh-Jeans x resultado experimental	52
Figura 13 –Representação da redução da intensidade de uma dada radiação ao se afastar de sua fonte	54
Figura 14 –Distâncias envolvidas no levantamento de <i>massas de ar</i>	55
Figura 15 –Irradiância e densidade espectral de potência na Terra	56
Figura 16 –a) Níveis de energia permitidos para os elétrons de um átomo isolado. b) c) e d) Formação de bandas de energia permitidas para elétrons através das associações atômicas crescentes com a diminuição das distâncias interatômicas.	57
Figura 17 –Bandas de energia permitidas e gaps	58
Figura 18 –Modelo esquemático de ocupação de elétrons nas bandas permitidas nos materiais	58
Figura 19 –Bandas de energia de um material Isolante	59
Figura 20 –Bandas de energia de um material Semicondutor	60
Figura 21 –Estrutura cristalina do silício	61
Figura 22 –(a) Modelo bidimensional de estrutura cristalina de silício. (b) Modelo bidimensional de estrutura cristalina de silício com elétron livre e buraco.	61
Figura 23 –(a) Modelo bidimensional de estrutura cristalina de silício dopada com fósforo. (b) Modelo bidimensional de estrutura cristalina de silício dopada com boro.	62
Figura 24 –Junção p-n	63

Figura 25	– Geração de um par elétron-buraco	64
Figura 26	– Representação da cadeia próton-próton	67
Figura 27	– Espectro eletromagnético	68
Figura 28	– Espectro da radiação do corpo negro	70
Figura 29	– Associação em série de células fotovoltaicas	71
Figura 30	– Associação em paralelo de células fotovoltaicas	72
Figura 31	– Representação atômica de metais, isolantes e semicondutores	74
Figura 32	– Interações possíveis do fóton com o material semiconductor	75
Figura 33	– Conjunto com os modelos finalizados	76
Figura 34	– Balança feita com uma régua, pedaços de arame e sacolas plásticas	77
Figura 35	– Material do experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul	78
Figura 36	– Circuito do experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul	79
Figura 37	– Lista de material para demonstrações e experimentos sobre a captação da energia da luz	82
Figura 38	– Celular sendo carregado por módulo fotovoltaico	83
Figura 39	– LEDs sendo alimentados por módulo fotovoltaico	84
Figura 40	– Calculadora sendo alimentada por módulo fotovoltaico	84
Figura 41	– Relógio sendo alimentado por módulo fotovoltaico	85
Figura 42	– Motor sendo alimentado por módulo fotovoltaico	85
Figura 43	– Ventoinha sendo alimentada por módulos fotovoltaicos	86
Figura 44	– Circuito para medição da tensão elétrica gerada por um módulo fotovoltaico	86
Figura 45	– Tensão elétrica em circuito sem carga gerada por um dos módulos fotovoltaicos	87
Figura 46	– Tensão elétrica em circuito sem carga gerada pelo outro módulo fotovoltaico	87
Figura 47	– Circuito para medição da tensão elétrica em circuito sem carga gerada pelos dois módulos fotovoltaicos associados em série	88
Figura 48	– Tensão elétrica em circuito aberto gerada pelos dois módulos fotovoltaicos associados em série	88
Figura 49	– Circuito para medição da corrente elétrica produzida pelo módulo fotovoltaico ligado ao resistor	89
Figura 50	– Corrente elétrica produzida por um dos módulos fotovoltaicos ligados ao resistor	90
Figura 51	– Corrente elétrica produzida pelo outro módulo fotovoltaico ligado ao resistor	90

Figura 52 – Circuito para medição da corrente elétrica no resistor produzida pelos dois módulos fotovoltaicos associados em paralelo	91
Figura 53 – Corrente elétrica produzida pelos dois módulos fotovoltaicos associados em paralelo	91
Figura 54 – Restrições de materiais de terceiros no YouTube	94
Figura 55 – Informações na descrição do vídeo inseridas pelo detentor de direitos autorais	95
Figura 56 – Pregos utilizados na confecção dos núcleos atômicos	96
Figura 57 – Furando a 1ª bolinha de isopor com o palito de dente	97
Figura 58 – Furando a última bolinha de isopor com o palito de dente para o <i>hélio 3</i>	97
Figura 59 – Passando cola no palito	98
Figura 60 – Colocando o palito com cola no furo feito anteriormente	98
Figura 61 – Passando cola na outra metade do palito	99
Figura 62 – Colocando o palito com cola no furo feito na outra bola de isopor para o <i>deutério</i>	99
Figura 63 – Identificando <i>prótons</i> e <i>nêutrons</i> nas bolinhas	100
Figura 64 – Introduzindo os pregos nas bolinhas	100
Figura 65 – Introduzindo os pregos nas bolinhas com um objeto	101
Figura 66 – Colocando cola nos furos dos pregos	101
Figura 67 – Local declarado pelos estudantes no qual possuem um computador, tablet ou celular com acesso a internet para estudar	103
Figura 68 – Total de horas semanais de estudo em casa declaradas pelos estudantes	104
Figura 69 – Aula com os estudantes participando das demonstrações das reações de fusão nuclear no Sol	104
Figura 70 – Estudantes realizando o experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul - Foto 1	105
Figura 71 – Estudantes realizando o experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul - Foto 2	105
Figura 72 – Estudantes realizando os experimentos sobre a associação de módulos fotovoltaicos - Foto 1	106
Figura 73 – Estudantes realizando os experimentos sobre a associação de módulos fotovoltaicos - Foto 2	106
Figura 74 – Estudantes realizando os experimentos sobre a associação de módulos fotovoltaicos - Foto 3	107
Figura 75 – Mapa conceitual de conhecimentos prévios elaborado pelos estudantes do 3ºA	108
Figura 76 – Mapa conceitual de conhecimentos prévios elaborado pelos estudantes do 3ºB	108

Figura 77 – Mapa conceitual de conhecimentos prévios elaborado pelos estudantes do 3°C	109
Figura 78 – Mapa conceitual de conhecimentos prévios elaborado pelos estudantes do 3°D	109
Figura 79 – Mapa conceitual de conhecimentos pós instrução elaborado pelos estudantes do 3°A	110
Figura 80 – Mapa conceitual de conhecimentos pós instrução elaborado pelos estudantes do 3°B	110
Figura 81 – Mapa conceitual de conhecimentos pós instrução elaborado pelos estudantes do 3°C	111
Figura 82 – Mapa conceitual de conhecimentos pós instrução elaborado pelos estudantes do 3°D	111
Figura 83 – Introdução da primeira aula usando o AVA	129
Figura 84 – Texto de divulgação científica na primeira aula usando o AVA	130
Figura 85 – Introdução da segunda aula usando o AVA	131
Figura 86 – Material explicativo da segunda aula usando o AVA	131
Figura 87 – Introdução da terceira aula usando o AVA	132
Figura 88 – Questões para praticar da terceira aula usando o AVA	133
Figura 89 – Introdução da quarta aula usando o AVA	134
Figura 90 – Simulador na quarta aula usando o AVA	134
Figura 91 – Introdução da quinta aula usando o AVA	135
Figura 92 – Marcos históricos da energia heliotérmica na quinta aula usando o AVA	136
Figura 93 – Introdução da sexta aula usando o AVA	137
Figura 94 – Material explicativo da sexta aula usando o AVA	138
Figura 95 – Demonstrações sobre fusão nuclear	139
Figura 96 – Experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores	140
Figura 97 – Experimento de associações de módulos fotovoltaicos	141
Figura 98 – Jogo de quiz sobre Fusão Nuclear	142

Lista de tabelas

Tabela 1 – Massas atômicas dos elementos da cadeia próton-próton	48
Tabela 2 – Relação entre as cores vermelha, verde e azul e os seus comprimentos de onda	81
Tabela 3 – Pesquisa de autoavaliação dos estudantes	111
Tabela 4 – Pesquisa de satisfação dos estudantes	112

Lista de abreviaturas e siglas

Abr./Sig.	Descrição
AM	Massas de ar (Air Mass)
AVA	Ambiente Virtual de Aprendizagem
EE	Escola Estadual
EM	Ensino Médio
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
OED	Objetos Educacionais Digitais
PV	Photovoltaic (Célula Fotovoltaica)
SD	Sequência didática
SBF	Sociedade Brasileira de Física
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TS	Teaching Sequence
UFABC	Universidade Federal do ABC
UV	Radiação ultravioleta
VLE	Virtual Learning Environment

Lista de símbolos

γ	Radiação gama
η	Eficiência
λ	Comprimento de onda
ν	Neutrino
π	Número Pi ($\sim 3,14$)
ρ	Densidade de energia
A	Área
c	Velocidade da luz no vácuo ($\sim 2,998.10^8 m/s$)
E	Energia
E_G	Energia do gap
E_{ph}	Energia do fóton
e	Número de Euler ($\sim 2,72$) ou carga elétrica ($\sim 1,6.10^{-19} C$)
e^-	Elétron
e^+	Pósitron
eV	Unidade de medida <i>elétron-volt</i>
f	Frequência
f_0	Frequência de corte
1H	Próton, núcleo de hidrogênio
2H	Deutério
3He	Núcleo de Hélio 3
4He	Núcleo de Hélio 4
h	Constante de Planck ($\sim 4,136.10^{-15} eV.s \cong 6,6261.10^{-34} J.s$)
I	Irradiância (Potência da radiação por unidade de área)

i	Corrente elétrica
J	Unidade de medida <i>Joule</i>
k	Constante de Boltzmann ($\sim 8,62 \cdot 10^{-5} eV/K \cong 1,381 \cdot 10^{-23} J/K$)
K	Unidade de medida <i>Kelvin</i>
m	Massa
P	Potência
$P(\lambda)$	Densidade espectral de potência
r	Raio ou distância
S	Potência da fonte de luz
s	Unidade de medida <i>segundo</i>
T	Temperatura
U	Tensão elétrica
\bar{U}	Tensão elétrica média
V	Unidade de medida <i>Volt</i>
V_0	Tensão de corte
W	Unidade de medida <i>Watt</i>
W_0	Função trabalho

Sumário

1	Introdução	31
1.1	Motivação do trabalho	32
1.2	Currículo e Metodologias	33
1.3	Fundamentação Teórica	35
2	Energia Solar	37
2.1	Alguns Marcos Históricos Relacionados a Energia Solar	37
2.2	O Ensino da Energia Solar e Assuntos Relacionados	40
2.2.1	Trabalhos de outros autores sobre o ensino da Energia Solar	41
2.2.2	Trabalhos de outros autores sobre o ensino de assuntos relacionados a Energia Solar	42
2.3	Física	47
2.3.1	Produção da Energia Solar	47
2.3.1.1	Fusão nuclear no Sol	47
2.3.2	Propagação da Energia Solar	50
2.3.2.1	Radiação do corpo negro	50
2.3.2.2	Princípio da conservação da energia da radiação	53
2.3.2.3	Massas de ar	54
2.3.2.4	Densidade espectral de potência	56
2.3.2.5	Irradiância solar	56
2.3.3	Captação e Utilização da Energia Solar	57
2.3.3.1	Bandas de energia	57
2.3.3.2	Semicondutores	60
2.3.3.3	Junção p-n	63
2.3.3.4	Efeito fotovoltaico	64
3	Descrição do Produto Educacional	65
3.1	Ambiente virtual de aprendizagem (AVA)	66
3.1.1	AVA: Fusão e fissão nuclear	66
3.1.2	AVA: Fusão nuclear no Sol	67
3.1.3	AVA: Energia da radiação	68
3.1.4	AVA: Espectro da radiação	69
3.1.5	AVA: Energia fotovoltaica e heliotérmica	71
3.1.6	AVA: Células e módulos fotovoltaicos	72
3.2	Demonstrações e experimentos	75
3.2.1	Demonstração da redução de massa na fusão nuclear	75

3.2.2	Experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul	78
3.2.3	Demonstrações e experimentos sobre a captação da energia da luz	81
3.3	Jogos de quiz	92
4	Desenvolvimento do Produto Educacional	93
4.1	Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)	93
4.1.1	Vídeos	93
4.1.2	Questionários	95
4.2	Demonstrações e Experimentos	96
4.2.1	Demonstração da redução de massa na fusão nuclear	96
4.3	Jogos de quiz	102
5	Aplicação do Produto	103
5.1	Levantamento dos Conhecimentos Prévios e Pós-instrução dos Estudantes	107
5.2	Pesquisa de satisfação	112
6	Considerações Finais e Conclusão	115
	Referências	117
	APÊNDICE A Produto Educacional	121
A.1	Introdução	126
A.2	Física	127
A.3	Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)	128
A.3.1	AVA: Fusão e fissão nuclear	129
A.3.2	AVA: Fusão nuclear no Sol	130
A.3.3	AVA: Energia da radiação	132
A.3.4	AVA: Espectro da radiação	133
A.3.5	AVA: Energia fotovoltaica e heliotérmica	135
A.3.6	AVA: Células e módulos fotovoltaicos	136
A.4	Demonstrações e Experimentos	138
A.4.1	Demonstração da redução de massa na fusão nuclear	138
A.4.2	Experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul	140
A.4.3	Demonstrações e experimentos sobre a captação da energia da luz	140
A.5	Jogos de quiz	141
A.6	Sequência Didática	143
A.6.1	Aula 1: Aula introdutória	145
A.6.1.1	Atividade 1: Levantamento de conhecimentos prévios	145

A.6.1.2	Atividade 2: Apresentação do conteúdo de Física a ser trabalhado no curso	145
A.6.2	Aula 2: Fusão e fissão nuclear (AVA)	146
A.6.2.1	Atividade 1: Conhecendo a fusão nuclear	147
A.6.2.2	Atividade 2: Questões de múltipla escolha sobre as reações de fusão e fissão nuclear	147
A.6.2.3	Atividade 3: Texto sobre o reator de fusão nuclear ITER	148
A.6.2.4	Atividade 4: Questão dissertativa sobre reações nucleares	149
A.6.3	Aula 3: Discussão e demonstrações sobre fusão nuclear	149
A.6.3.1	Atividade 1: Discussão sobre os elementos químicos e como eles se formam	150
A.6.3.2	Atividade 2: Demonstração das reações de fusão nuclear	150
A.6.3.3	Atividade 3: Introdução do conceito de transformação de massa em energia	151
A.6.3.4	Atividade 4: Relatório sobre a discussão e as demonstrações sobre fusão nuclear	151
A.6.4	Aula 4: Fusão Nuclear no Sol (AVA)	152
A.6.4.1	Atividade 1: Conhecendo com detalhes as reações da cadeia próton-próton	153
A.6.4.2	Atividade 2: A energia liberada nas reações	153
A.6.4.3	Atividade 3: Questões de múltipla escolha sobre as reações da cadeia próton-próton e transformação de massa em energia	154
A.6.4.4	Atividade 4: Questão dissertativa sobre radiações	154
A.6.5	Aula 5: Jogo de quiz sobre reações de fusão nuclear	155
A.6.5.1	Atividade 1: Quiz sobre reações de fusão nuclear	156
A.6.6	Aula 6: Energia da radiação (AVA)	156
A.6.6.1	Atividade 1: A luz e o espectro eletromagnético	157
A.6.6.2	Atividade 2: A energia dos fótons de uma dada radiação	157
A.6.6.3	Atividade 3: Questões de múltipla escolha sobre a energia da radiação	157
A.6.6.4	Atividade 4: Questão dissertativa sobre a cor do Sol	158
A.6.7	Aula 7: Experimento para determinação dos comprimentos de onda das cores	159
A.6.7.1	Atividade 1: Levantamento da energia dos fótons das cores vermelha, verde e azul	159
A.6.7.2	Atividade 2: Relatório dos cálculos dos comprimentos de onda da luz vermelha, verde e azul	160
A.6.8	Aula 8: Espectro da radiação (AVA)	161

A.6.8.1	Atividade 1: Espectro da radiação do corpo negro	162
A.6.8.2	Atividade 2: Simulação sobre radiação do corpo negro (PhET)	162
A.6.8.3	Atividade 3: Irradiação da Terra	163
A.6.8.4	Atividade 4: Questões de múltipla escolha sobre a energia da radiação	163
A.6.9	Aula 9: Jogo de quiz sobre radiação solar	164
A.6.9.1	Atividade 1: Quiz sobre radiação solar	165
A.6.10	Aula 10: Energia fotovoltaica e heliotérmica (AVA)	165
A.6.10.1	Atividade 1: Painel solar fotovoltaico	166
A.6.10.2	Atividade 2: Questões de múltipla escolha sobre painéis solares fotovoltaicos	166
A.6.10.3	Atividade 3: Texto sobre alguns marcos históricos da ener- gia solar	167
A.6.10.4	Atividade 4: Questão dissertativa sobre semicondutores . .	167
A.6.11	Aula 11: Demonstrações e experimentos com módulos fotovoltaicos	168
A.6.11.1	Atividade 1: Demonstração com módulos fotovoltaicos . .	168
A.6.11.2	Atividade 2: Experimento de associação de módulos foto- voltaicos	169
A.6.11.3	Atividade 3: Relatório das demonstrações e atividades ex- perimentais	170
A.6.12	Aula 12: Células e módulos fotovoltaicos (AVA)	171
A.6.12.1	Atividade 1: Dopagem de semicondutores e o efeito foto- voltaico	172
A.6.12.2	Atividade 2: Condutividade elétrica dos materiais e teoria de bandas	172
A.6.12.3	Atividade 3: Questões de múltipla escolha sobre células fotovoltaicas	172
A.6.12.4	Atividade 4: Fabricação de módulos fotovoltaicos	173
A.6.13	Aula 13: Jogo de quiz sobre células e módulos fotovoltaicos	173
A.6.13.1	Atividade 1: Quiz sobre células e módulos fotovoltaicos . .	174
A.6.14	Aula 14: Aula final	175
A.6.14.1	Atividade 1: Levantamento de conhecimentos pós-instrução	175
A.6.15	Avaliações	175
A.7	Considerações Finais	176
A.8	Referências e Sugestões de Leitura	177

1 Introdução

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta didática sobre assuntos de Física relacionados ao estudo da Energia Solar, abordando a produção dessa energia no Sol, sua propagação pelo espaço e atmosfera da Terra, até sua captação e utilização aqui na superfície do planeta, visando com isso que os estudantes compreendam conceitos físicos importantes para sua formação científica. Para isso, é utilizada uma metodologia moderna, atraente e engajadora, na qual o(a) professor(a) tenha a sua disposição uma sequência didática para pronta implementação e utilização.

No capítulo 1, além dessa introdução, é feita uma apresentação das principais motivações para a realização desse trabalho, justificando os assuntos curriculares e as metodologias adotadas, além de explicar a fundamentação teórica básica utilizada.

No capítulo 2, começa-se a falar da Energia Solar, sendo feito inicialmente um apanhado de alguns marcos históricos relacionados ao tema e de alguns trabalhos apresentados por outros autores sobre assuntos relacionados, seguindo com uma apresentação mais detalhada de assuntos de Física abordados no produto, a fim de disponibilizar aos professores um material que permita que se aprofundem mais nos assuntos abordados com os estudantes.

No capítulo 3 é então feita uma apresentação do produto desse trabalho, descrevendo a teoria disponibilizada para os estudantes através do AVA, os experimentos e demonstrações realizados e a plataforma escolhida para realização dos jogos de quiz.

No capítulo 4, o(a) professor(a) terá a oportunidade de entender como foi elaborado todo o material do produto, incluindo os textos, vídeos e questionários das aulas no AVA, os modelos atômicos para demonstrar a fusão nuclear, os experimentos e os jogos de quiz.

No capítulo 5 é descrita como foi a aplicação desse produto, o perfil dos estudantes da escola que utilizaram o mesmo, como se deu a realização do levantamento de conhecimentos prévios e pós-instrução destes estudantes, as demonstrações e experimentos realizados, além de apresentar os resultados de uma pesquisa de satisfação dos estudantes após terem participado das aulas realizadas com esse produto.

No capítulo 6, é feita uma reflexão sobre o trabalho realizado, sendo apresentada as considerações finais e as conclusões obtidas com o material utilizado para avaliar a aprendizagem dos estudantes, o qual demonstrou uma melhora significativa em seus conhecimentos relacionados a Energia Solar.

Ao final, no Apêndice A, encontra-se o produto educacional gerado a partir da realização deste trabalho, preparado para que o(a) professor(a) que for utilizá-lo tenha

a sua disposição um material prático e para pronta implementação junto a(s) sua(s) turma(s).

1.1 Motivação do trabalho

Apesar de estarmos no século XXI, o ensino de Física hoje ainda é muito antiquado, parecendo a Física ensinada no século XIX ou até mesmo anterior a esse (MOREIRA, 2017), focando no estudo da Física clássica e abordando pouco, ou simplesmente nada, de Física moderna e contemporânea.

Pesquisadores em ensino de Física tem discutido inovações dos conteúdos curriculares de maneira frequente nos últimos anos, escrevendo sobre a necessidade de se trabalhar em sala de aula conteúdos de Física Moderna (AZEVEDO; ANDRADE; PIETROCOLA, 2006) e Contemporânea. Contudo, barreiras relacionadas a ausência ou falta de preparo de professores de Física, a reduzida quantidade de suas aulas, as más condições de trabalho as quais estes são submetidos (MOREIRA, 2017), além da preocupação, muitas vezes única, de algumas escolas em formar estudantes para obterem bons resultados em provas, como por exemplo os vestibulares, somam-se a outras dificuldades que distanciam a melhora deste ensino.

Embora o ensino que possui como propósito o preparo de estudantes para obterem bons resultados em testes seja algo bastante presente em nossas escolas hoje, o mesmo é bastante antigo e já vem sendo relatado por outros professores desde décadas passadas: "Eu não conseguia ver como alguém poderia ser educado por esse sistema autopropagante no qual as pessoas passam nos exames e ensinam outras pessoas a passar nos exames, mas ninguém sabe de nada [...]" (FEYNMAN, 1985 apud STUDART, 2018, p.14).

Ao lado de um currículo de Física antigo e do ensino que tem como foco o preparo para testes, as metodologias de ensino e aprendizagem utilizadas são também comumente ultrapassadas e pouco estimulantes para os estudantes. As estratégias didáticas utilizadas por muitos professores são unicamente a de apresentar o conteúdo de forma oral, esperando que os estudantes aprendam este conteúdo apenas ouvindo uma palestra, o chamado ensino tradicional, o qual ainda é muito presente no ambiente escolar. (MOREIRA, 2018)

Esse ensino chamado como tradicional esta muitas vezes enraizado nos professores, sendo de difícil mudança, visto que esta metodologias é a que esses professores sabem melhor, não porque haja algo especial nela, mas sim devido ao fato de muitos desses professores terem sido ensinados assim quando ainda eram estudantes na educação básica e posteriormente em seus cursos de graduação.

Esse modelo de ensino no qual os estudantes observam passivamente seu professor apresentar uma aula, contribui fortemente para a falta de habilidades de argumentação

desse público discente. Quando o(a) professor(a) faz uma pergunta, é comum os estudantes responderem rápido com respostas curtas e imprecisas, sem reflexões sobre o assunto. Isso ocorre devido ao fato dos estudantes não terem sido estimulados a expressarem suas opiniões nas aulas. Alguns professores estão acostumados a requerer dos estudantes que memorizem conceitos sobre o tema trabalhado, em vez de conduzir discussões significativas do assunto (KRISTIANTI; RAMLI; ARIYANTO, 2018).

Não devemos pensar porém que basta uma mudança de postura do(a) professor(a) e uma modificação da cultura da escola para obter a melhoria almejada. Os desafios apresentados aqui vão além dos muros da escola, pois existe uma cultura social que cobra um(a) professor(a) com um certo viés comportamentalista, que utilize procedimentos de avaliação que apresentem registros para mostrar se os estudantes aprenderam, ou não, os conteúdos curriculares (MOREIRA, 2018).

Trabalhos de melhoria nesse ensino vem sendo desenvolvidos atualmente, porém eles ainda são feitos em um ritmo muito lento e de pouco alcance, tendo como protagonistas poucos professores de Física que utilizam parte de suas aulas para as mudanças necessárias, porém, mantendo sempre a preocupação em trabalhar essas melhorias em paralelo as exigências sociais do cumprimento de um currículo antiquado, preparado para treinar estudantes para obterem bons resultados em provas.

1.2 Currículo e Metodologias

Diante dos desafios apresentados, esse trabalho tem como objetivo explorar conteúdos de Física Moderna e Contemporânea que sejam interessantes e que estejam associados a uma metodologia de ensino e aprendizagem engajadora para os estudantes.

Assim, dentre as diversas possibilidades a serem exploradas, o tema escolhido para esse trabalho foi a Energia Solar, assunto pouco trabalhado nos currículos de Física atuais, porém conveniente para a abordagem de assuntos relacionados a física nuclear, o eletromagnetismo e a física do estado sólido.

Quanto as metodologias a serem utilizadas, objetos educacionais digitais (OED) associados as novas tecnologias de informação e comunicação (TIC) são amplamente exploradas nesse trabalho, visando ter um modelo de aula que seja atraente e engajadora para os estudantes. É necessário o uso das TIC no ambiente escolar, pois os estudantes de hoje usam constantemente dispositivos móveis para se comunicarem e obterem informações, ou seja, vivem grande parte de suas vidas em um mundo digital, sendo para eles uma grande tortura participarem de uma aula tradicional, em que basicamente o(a) professor(a) fala e eles escutam (COSTA et al., 2012).

A escolha de trabalhar com OED está fundamentada na ideia de que o uso das

TIC por si só, sem a modernização das metodologias de ensino e aprendizagem utilizadas, não seria de grande valor junto aos estudantes, pois basicamente isso seria a digitalização de uma aula tradicional. É necessário que a utilização de metodologias focadas nos estudantes, como a gamificação, simulações interativas, sala de aula invertida, entre outras, sejam utilizadas pelos professores (STUDART, 2015).

Os jogos utilizados na educação apresentam um grande potencial para despertar o interesse dos estudantes, sendo notável quando estudantes normalmente pouco participativos mudam de comportamento, a fim de tornarem-se líderes em seus times de jogadores durante uma aula em que haja uma competição entre times montados por alunos. A aprendizagem significativa pode ser alcançada com maior abrangência quando o ensino ocorre através da elaboração de atividades desenvolvidas pelo(a) professor(a) em que os estudantes gostem e se divertam com as mesmas (RESNICK, 2004 apud MATTAR; NES-TERIUK, 2016).

A integração das TIC com o ambiente escolar e a utilização de metodologias significativas de ensino e aprendizagem, ou seja, uma mistura do ensino tradicional com o ensino on-line, o ensino híbrido, tem um grande potencial para obter bons resultados nesse processo. (SCHIEHL; GASPARINI, 2017)

Pesquisas sobre ensino e aprendizagem demonstram também a obtenção de melhores resultados quando estudantes usam seus próprios conhecimentos para construir uma base estrutural das ideias científicas abordadas pelo(a) professor(a) sobre um determinado assunto. Porém, para que esse aprendizado ocorra, é necessário que algo motive estes estudantes a obterem o engajamento necessário para o sucesso do processo. Simulações interativas, como por exemplo as disponibilizadas no site do PhET, são capazes de ajudar a atingir esses objetivos (WIEMAN; ADAMS; PERKINS, 2008).

Já a restrição de tempo imposta pela reduzida quantidade de aulas de Física, associada a um currículo bastante extenso, aparece como um outro obstáculo ao ensino e aprendizagem que pode ser superado, ou ao menos reduzido, com a utilização de uma metodologia de sala de aula invertida. A sala de aula invertida apresenta uma abordagem pedagógica moderna, que troca a metodologia de ensino e aprendizagem moldada em aulas tradicionais para um modelo em que o(a) estudante tem um primeiro contato com o conteúdo a ser abordado, previamente ao encontro presencial em sala de aula com o(a) professor(a), assim, este(a) professor(a) passa a usar mais de seu tempo disponível em sala de aula para conduzir atividades significativas de aprendizagem e interagir com seus estudantes conforme suas dificuldades pessoais (HWANG; LAI; WANG, 2015).

Utilizando essas práticas pedagógicas modernas e cercadas de tecnologia, o(a) professor(a) pode assumir uma posição de gestor(a) dos processos de ensino e aprendizagem, sendo responsável então pela condução dos estudantes através dos caminhos que levam ao conhecimento. O(A) professor(a) define então os assuntos a serem trabalhados, escolhe

as tecnologias, elabora e organiza os materiais digitais a serem disponibilizados para os estudantes, para depois, em encontros presenciais com os estudantes, dispor do máximo do tempo para conduzir estes estudantes em atividades investigativas e problematizações, despertar o levantamento de hipóteses e auxiliar os estudantes a desenvolverem reflexões e sistematizarem os conteúdos abordados nas atividades (FERNANDES; RODRIGUES; FERREIRA, 2015).

1.3 Fundamentação Teórica

Tendo feito um importante trabalho de psicologia aplicado na área da educação e sendo conhecido por ser um grande defensor de um currículo elaborado em espiral, no qual os estudantes têm a oportunidade de ver e rever o conteúdo ensinado em diferentes momentos, níveis de profundidade e apresentações durante o processo de ensino e aprendizagem, o antigo professor de Psicologia do Centro de Estudos Cognitivos da Universidade de Harvard, Jerome Bruner (MOREIRA, 2011), se destacou como um grande teórico capaz de embasar o desenvolvimento dessa dissertação.

Autor também da famosa frase: "[...] qualquer assunto pode ser ensinado de maneira eficaz, de alguma forma intelectualmente honesta, a qualquer criança em qualquer estágio do desenvolvimento." (BRUNER, 1977, p.33, tradução nossa), ele nos encoraja a trabalhar os assuntos de Física Contemporânea do produto desse trabalho junto aos estudantes de ensino médio.

Referente a essa frase, Moreira descreve que:

Ele não quis dizer que o assunto poderia ser ensinado em sua forma final, e sim que seria sempre possível ensiná-lo, desde que se levassem em consideração as diversas etapas do desenvolvimento intelectual. Cada uma dessas etapas é caracterizada por um modo particular de representação, que é a forma pela qual o indivíduo visualiza o mundo e explica-o a si mesmo. Assim, a tarefa de ensinar determinado conteúdo a uma criança, em qualquer idade, é a de representar a estrutura deste conteúdo em termos da visualização que a criança tem das coisas (MOREIRA, 1999 apud SOUZA; SAD; THIENGO, 2015, p.48).

Para Bruner, os conteúdos devem ser organizados em uma sequência de modos de representação que influenciará diretamente os estudantes na compreensão dos assuntos ensinados. Sendo a codificação por uma ação e o armazenamento na memória onde esses se iniciam (Representação Enativa), para depois seguir com o armazenamento visual na forma de imagens (Representação Icônica) e finalmente, o armazenamento simbólico, ou na forma de códigos (Representação Simbólica) (SOUZA; SAD; THIENGO, 2015).

Bruner descreve a eficácia de uma teoria de aprendizagem por descoberta, em que o estudante é um membro ativo da construção do seu próprio conhecimento, assimilando

e transformando este através dos três modos de representação descritos anteriormente (SOUZA; SAD; THIENGO, 2015).

Referente a como devem ser cada uma das características de uma teoria de ensino, Bruner distingue as seguintes quatro principais:

Em primeiro lugar, deve apontar as experiências mais efetivas para implantar em um indivíduo a predisposição para a aprendizagem - aprendizagem em geral, ou qualquer caso particular dela. Deve, em segundo lugar, especificar como deve ser estruturado um conjunto de conhecimentos, para melhor ser apreendido pelo estudante. A 'estrutura ótima' será constituída de uma série de proposições da qual poderá decorrer um conjunto de conhecimentos de maiores dimensões, sendo característica a dependência da sua formulação para com o grau de adiantamento do campo particular do conhecimento [...] Em terceiro lugar, uma teoria de ensino deverá citar qual a sequência mais eficiente para apresentar as matérias a serem estudadas. Se alguém quer ensinar a estrutura da teoria de Física Moderna, como deve fazê-lo? Apresentando inicialmente matérias concretas, de maneira a despertar curiosidade sobre as regularidades decorrentes? Ou com uma notação matemática, formal, que simplificará a representação das regularidades a serem encontradas? Quais os resultados de cada método? E qual a estrutura ideal? Deve, finalmente, uma teoria da instrução deter-se na natureza e na aplicação dos prêmios e punições, no processo de ensino e aprendizagem. Intuitivamente, parece claro que, com o progresso da aprendizagem, chega-se a um ponto em que é melhor abster-se de premiações extrínsecas - como elogios do professor, em favor da recompensa intrínseca, inerente a solução de um problema complexo. (BRUNER, 1976 apud MOREIRA, 2011, p.85)

Pode-se perceber então que Bruner busca em sua teoria de ensino e aprendizagem fazer com que o(a) professor(a) seja responsável por auxiliar os estudantes a desenvolverem o conhecimento, levando sempre em consideração o nível de desenvolvimento intelectual de cada um e simplificando, quando necessário os problemas a serem abordados para esse nível, a fim de possibilitar que esses estudantes reconheçam e entendam o que está sendo abordado (MOREIRA, 2011).

Sobre a percepção que temos do mundo e de suas realidades, a teoria de Bruner descreve que todos nós enxergamos e construímos o mundo de forma diferente, sendo que isso ocorre devido ao contexto no qual estamos inseridos e às nossas experiências com o que já interagimos, construindo significados a partir daquilo que cada um produz em sua mente e implicando assim que a forma como o mundo é visto por nós hoje é diferente de como o veremos daqui a alguns anos (SOUZA; SAD; THIENGO, 2015).

2 Energia Solar

2.1 Alguns Marcos Históricos Relacionados a Energia Solar

A radiação solar incidente no nosso planeta é algo que vem sendo utilizada há milhares de anos pelo ser humano, seja por meio de atividades agrícolas, obras arquitetônicas e, mais recentemente, para geração de energia elétrica (MARTINS; PEREIRA; ECHER, 2004).

As civilizações pré-históricas já utilizavam a energia solar para desidratar alimentos e assim conservá-los por mais tempo (KALOGIROU, 2009).

A partir da metade do século XVIII, o ser humano aperfeiçoou sua capacidade de utilizar a Energia Solar. Nessa época, o suíço H. B. DeSaussure utilizou uma caixa isolada com várias camadas de vidro para atingir temperaturas altas o suficiente para o cozimento de alimentos (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

Ainda no século XVIII, na Europa e Oriente Médio, foram construídos fornos solares que utilizavam lentes e espelhos e eram capazes de fundir o ferro. Um dos primeiros desses fornos solares que foi aplicado em grande escala, foi construído pelo cientista francês Antoine Lavoisier, que por volta de 1774 utilizou poderosas lentes para convergir a radiação solar para o forno (Figura 1) e atingir a notável temperatura de 1750°C (DELYANNIS, 2003 apud KALOGIROU, 2009, p.23).

Durante o século XIX e início do século XX, os esforços concentraram-se em utilizar a energia solar para a geração de vapor pressurizado capaz de movimentar as diversas máquinas a vapor surgidas na revolução industrial. August Mouchot foi um dos pioneiros nesse campo, construindo e operando diversas máquinas a vapor movidas a energia solar entre os anos de 1864 e 1878 na Europa e Norte da África. Em 1878, uma dessas máquinas desenvolvida para a imprensa foi apresentada em uma exibição internacional em Paris (Figura 2), mostrando um notável avanço no projeto de coletores solares, os quais Mouchot fabricou utilizando chapas de metal revestidas com prata. Infelizmente a construção dessa máquina mostrou-se muito cara e a produção de outras máquinas iguais foi considerada inviável pelo governo francês da época (KALOGIROU, 2009).

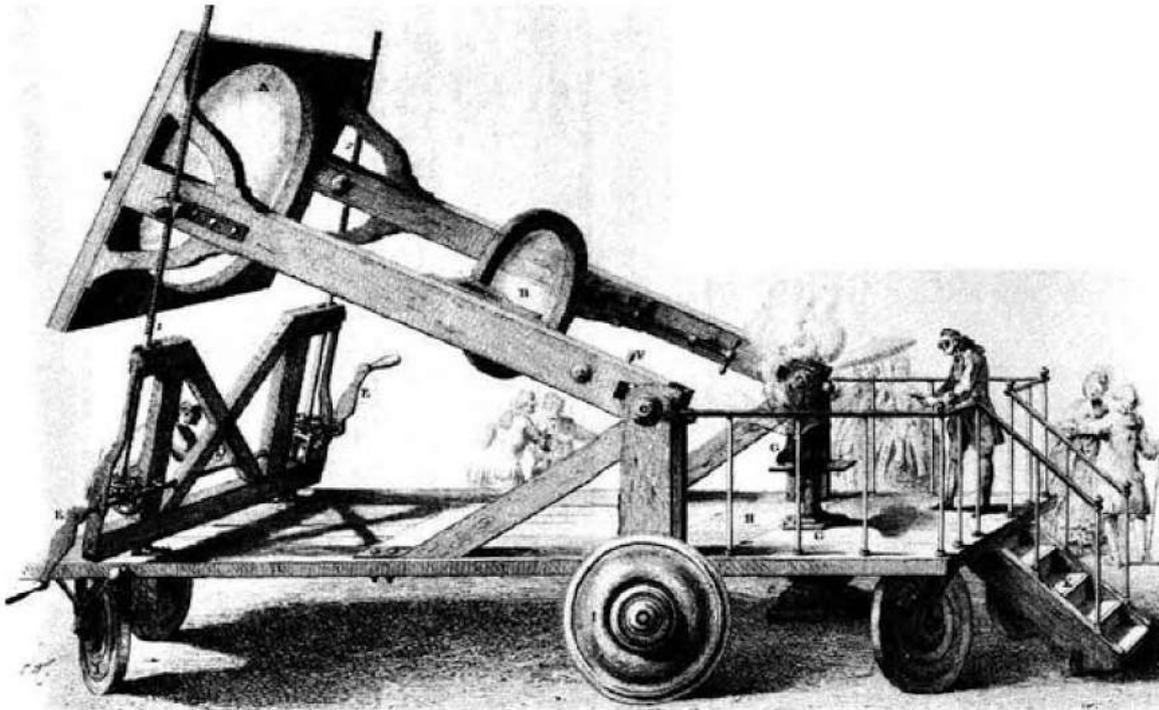


Figura 1 – Forno solar construído por Lavoisier em 1774

Fonte: [Kalogirou \(2009\)](#)

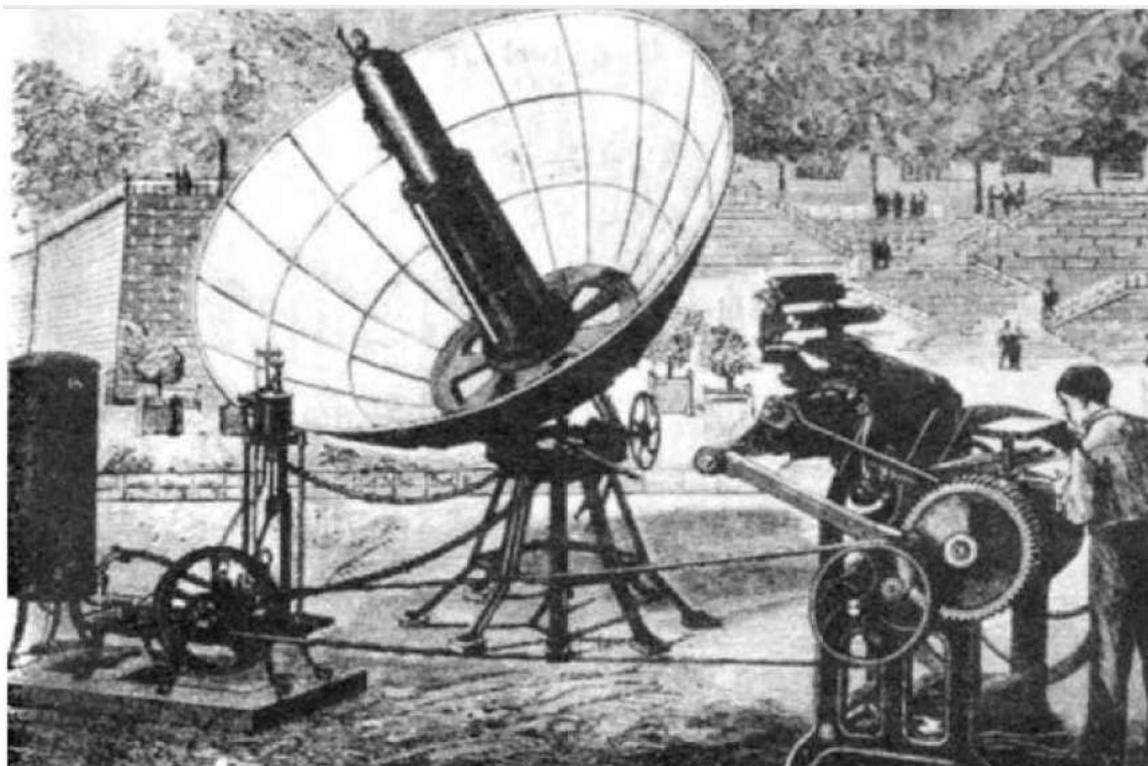


Figura 2 – Máquina com coletor solar parabólico exposta em Paris por Mouchot em 1878

Fonte: [Kalogirou \(2009\)](#)

Em 1912, o engenheiro norte-americano Frank Shuman colocou em operação no

Egito a maior planta de bombeamento de água em larga escala movida a energia solar até então feita (Figura 3). O sistema foi colocado em operação com a intenção de fornecer água de irrigação a partir do Rio Nilo, usando para isso longos cilindros parabólicos para focar a luz solar em tubos pretos de metal preenchidos com água. A área total ocupada pelo sistema era de aproximadamente de $1200m^2$ e o sistema tinha capacidade de produção de até $50kW$ no seu pico (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

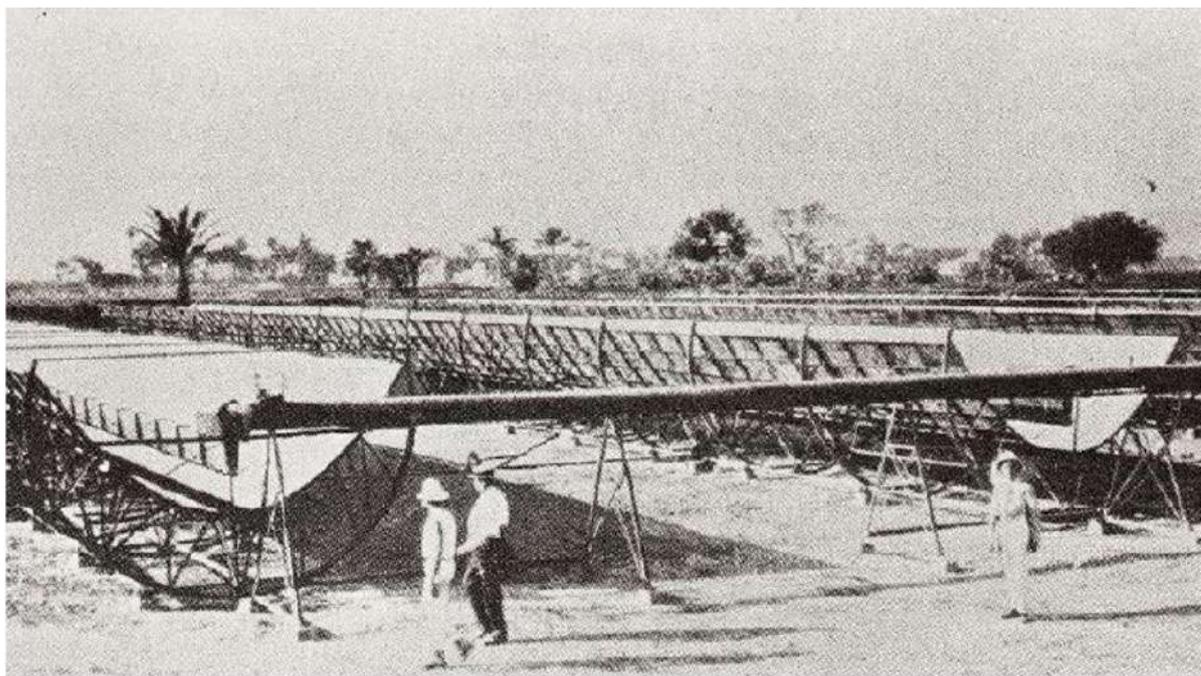


Figura 3 – Planta de bombeamento de água construída no Egito, 1913

Fonte: Egyptian Stories, acessado em 25/2/2019 no endereço <http://egyptianstories.blogspot.com/2011/01/first-solar-generating-plant-in-world.html>

Já durante a década de 1970, a energia solar assim como outras fontes de energia renováveis, recebeu um grande incentivo para o seu desenvolvimento, visto a crise mundial do petróleo que surgiu naquela década. Devido a esse cenário econômico, foi construída em Albuquerque, Novo México, em 1979, a primeira planta solar comercial, tendo como objetivo a produção de eletricidade a partir de vapor superaquecido pelo Sol, e gerando assim uma potência de $5MW$. Após ela, em Barstow na Califórnia, foi construída uma outra planta movida também a energia solar com capacidade térmica de produção de $35MW$. (KALOGIROU, 2009)

Atualmente, o aquecimento solar residencial ou comercial de água para fins de consumo próprio é encontrado em muitas localidades. Sendo composto de um sistema de poucos elementos (Figura 4), basicamente um coletor solar de calor, um reservatório térmico e tubulações de distribuição, esse sistema pode possibilitar com o aquecimento da água uma redução significativa dos gastos com energia elétrica da empresa distribuidora local (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).



Figura 4 – Aquecedor solar de água residencial ou comercial

Fonte: BlueSol, acessado em 13/3/2019 no endereço <https://blog.bluesol.com.br/tipos-de-energia-solar/>

A busca por novas fontes energéticas, despertou o interesse de cientistas para a pesquisa de formas que permitissem a geração direta de eletricidade a partir da captação da energia proveniente do Sol, ou em um cenário mais desafiador, a produção de energia semelhante a forma como o Sol a produz. Essas pesquisas relacionadas a captação da energia solar possibilitaram a descoberta da utilização de certos materiais, os quais são chamados de semicondutores, capazes de gerar eletricidade a partir da transformação direta da radiação solar em energia elétrica (BURATTINI, 2008).

2.2 O Ensino da Energia Solar e Assuntos Relacionados

Nessa seção, serão apresentados trabalhos de outros autores que abordam o ensino de Física com o tema energia solar, além de outros assuntos relacionados indiretamente com esse tema, sendo estes abordados nos trabalhos de Cavalcante et al. (2002), onde os autores dentro do tema efeito fotoelétrico, descrevem atividades didáticas para obtenção da constante de Planck, e no trabalho de Fish e Pope (2008), que assim como em um dos trabalhos de Cavalcante et al. (2002), utilizam LEDs para obter o valor dessa constante.

Embora esses trabalhos não tratem diretamente do tema energia solar, eles abordam assuntos relevantes ao estudo desse tema, como o efeito fotoelétrico, que trata de um processo diferente do efeito fotovoltaico estudado na energia solar, mas diretamente relacionado ao mesmo, por também ser um fenômeno em que um elétron absorve a energia de um fóton incidente em um material para subir para um nível energético maior. Já a

constante de Planck, assume uma imensurável importância neste trabalho, pois é utilizada em diversas abordagens na Física Moderna e Contemporânea, sendo esse um dos motivos dessa dissertação apresentar uma seção dedicada exclusivamente para tratar a radiação do corpo negro (Seção 2.3.2.1), descrevendo o contexto histórico do surgimento do valor dessa constante.

2.2.1 Trabalhos de outros autores sobre o ensino da Energia Solar

SOUZA (2016) descreve ter desenvolvido em sua pesquisa um produto educacional no qual palestras e um projeto experimental foram utilizados para trabalhar o tema da energia solar fotovoltaica junto a estudantes de terceiros anos do ensino médio de duas escolas estaduais e um instituto federal, localizados na região de Belém do Pará e proximidades.

Nesse projeto experimental, os estudantes construíram uma maquete de uma casa autossustentável do ponto de vista energético, em que segundo o autor, foi verificado a obtenção de bons níveis de aprendizagem desses estudantes com a implementação da escolha desse projeto. Para chegar a essa conclusão, foi utilizada a aplicação de 10 testes de múltipla que abordavam temas relacionados a Física dos semicondutores utilizados nos painéis, conhecimentos de engenharia dos equipamentos necessários para a montagem de um sistema fotovoltaico e conhecimentos gerais sobre a utilização dessa energia no mundo (SOUZA, 2016).

Já Florêncio e Trigo (2018) relatam um trabalho no qual desenvolveram atividades teóricas e práticas extracurriculares sobre a energia solar fotovoltaicas junto a estudantes do primeiro ano de um curso médio integrado ao técnico em eletrônica e estudantes do primeiro e terceiro módulos de um curso técnico em eletrônica de uma Escola Técnica Estadual de São Paulo localizada na cidade de Santos.

Nesse trabalho, os estudantes foram iniciados no tema com uma aula teórica sobre o assunto e depois em grupos conduzidos para uma atividade experimental que utilizava módulos solares fotovoltaicos, multímetros para medir tensão e corrente elétrica e aplicativos de smartfone de bússola e medidores de ângulos, para posicionamento dos painéis. Para finalizar, os estudantes foram levados para uma visita ao Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (LSF-IEE/USP)¹. Durante a visita, os estudantes tiveram a oportunidade de conhecer os principais sistemas fotovoltaicos existentes no laboratório, a estação meteorológica utilizada para medir a irradiação solar, assistiram uma demonstração do funcionamento de um seguidor solar, no qual os módulos fotovoltaicos acompanham automaticamente a movimentação do Sol e ouviram também uma palestra explicando o funcionamento dos

¹ <http://lsf.iee.usp.br/>

sistemas interligados e isolados da rede elétrica com um telhado solar e com uma usina fotovoltaica (FLORÊNCIO; TRIGOSO, 2018).

Na avaliação dos resultados desse trabalho, Florêncio e Trigoso (2018) utilizaram 9 questões de múltipla escolha com respostas relacionadas aos níveis de concordância das abordagens dos enunciados, onde os estudantes responderam sobre tópicos do tema referentes a escolha e o aprendizado do assunto trabalhado pelo(a) professor(a), o nível de consciência sobre a importância da utilização de energias renováveis e a satisfação que sentiram nas etapas do processo de ensino e aprendizagem conduzidas. Dentre as respostas, foi verificado um alto nível de conscientização sobre a importância da utilização de energias renováveis, além de um alto índice de aprovação junto aos estudantes do tema abordado, dos métodos utilizados no processo e do aprendizado obtido.

Costa e Cherpinski (2018) projetaram para fins didáticos de utilização no ensino básico, um kit experimental de baixo custo, sendo este composto basicamente por uma célula solar fotovoltaica, um potenciômetro, fios elétricos e um suporte articulado. O objetivo do experimento é medir a eficiência (η) da célula fotovoltaica utilizada. Para isso, primeiramente é estimada a irradiação solar incidente (I_{est}) do local do experimento. Feito isso, depois da montagem do circuito do experimento conforme roteiro do autor, a haste do potenciômetro é girada, variando a resistência do circuito para a obtenção dos dados experimentais que possibilitarão a construção de dois gráficos, um da corrente elétrica em função da tensão e outro da potência elétrica em função da tensão. A partir deste último gráfico, é possível obter o valor da potência elétrica máxima do circuito, e assim, calcular a eficiência da célula fotovoltaica utilizada. Finalmente, conforme equação 2.1, basta dividir-se o resultado experimental da relação do valor da potência elétrica máxima (P_{max}) do circuito por unidade de área da célula fotovoltaica (A_{cel}), pela irradiação solar estimada para o local e obter assim, a eficiência da célula fotovoltaica utilizada.

$$\eta = \frac{P_{max}/A_{cel}}{I_{est}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Alves e Silva (2008) descrevem em seu trabalho a utilização de leds funcionando como células fotovoltaicas, gerando a energia elétrica necessária para alimentar um relógio digital. O trabalho dos autores apresenta um experimento de custo extremamente baixo e de fácil realização, tendo como objetivo deixar a Física mais atraente junto aos estudantes.

2.2.2 Trabalhos de outros autores sobre o ensino de assuntos relacionados a Energia Solar

Cavalcante et al. (2002) descreveram em seu trabalho dois produtos educacionais para obtenção da constante de Planck. Em um desses produtos, é utilizado um simulador (Ver figura 5) do efeito fotoelétrico para dois materiais distintos.

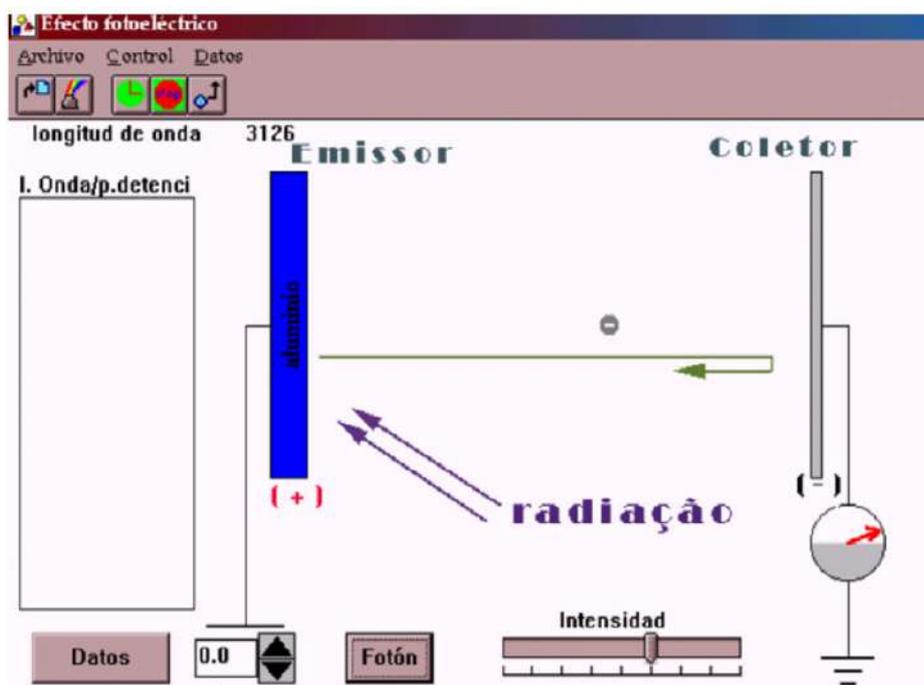


Figura 5 – Tela do simulador do efeito fotoelétrico

Fonte: Cavalcante et al. (2002)

A partir dos resultados dessas simulações, é então plotado em um gráfico, para cada material, sua tensão de corte em função da frequência da radiação incidente (Ver figura 6), possibilitando a partir das retas ajustadas neste gráfico, a obtenção da constante de Planck.

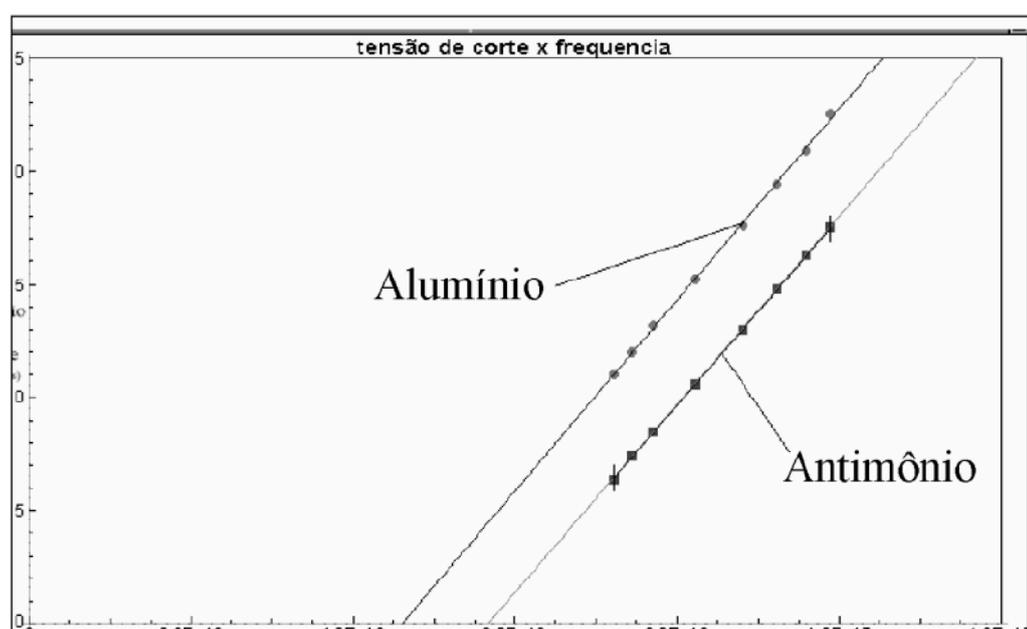


Figura 6 – Gráfico da tensão de corte em função da frequência para o alumínio e o antimônio.

Fonte: Adaptado de Cavalcante et al. (2002)

Para o entendimento de como isso é possível, deve-se iniciar com o fato de que para uma dada radiação, a energia cinética máxima E dos elétrons ejetados dos materiais pode ser expressa pela equação

$$E = h \cdot f - W_0, \quad (2.2)$$

onde h corresponde a constante de Planck, f a frequência da radiação incidente no material e W_0 a função trabalho do material, que é a energia mínima necessária para que um elétron seja ejetado desse material.

Para frear esse elétron mais energético ejetado, a energia E corresponderá ao produto do módulo da carga do elétron

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} C,$$

pela tensão de corte V_0 do material para a frequência da radiação incidida (Ver equação 2.3), que é a tensão reversa mínima a ser aplicada para frear o elétron mais energético ejetado.

$$E = e \cdot V_0 \quad (2.3)$$

Como a função trabalho corresponde ao produto da constante de Planck h pela frequência de corte f_0 do material, a qual corresponde a frequência mínima da radiação para a qual ainda existe ejeção de elétrons neste material, a equação 2.2 poderá ser reescrita como

$$e \cdot V_0 = h \cdot (f - f_0), \quad (2.4)$$

implicando que a constante de Planck poderá ser obtida por

$$h = e \cdot \frac{V_0}{f - f_0}, \quad (2.5)$$

onde o termo

$$\frac{V_0}{f - f_0} \quad (2.6)$$

corresponde ao coeficiente angular de cada reta no gráfico plotado.

Já em um segundo produto educacional, [Cavalcante et al. \(2002\)](#) descrevem a utilização de LEDs para determinação da constante de Planck, sendo estes montados esquematicamente em um circuito conforme a figura 7.

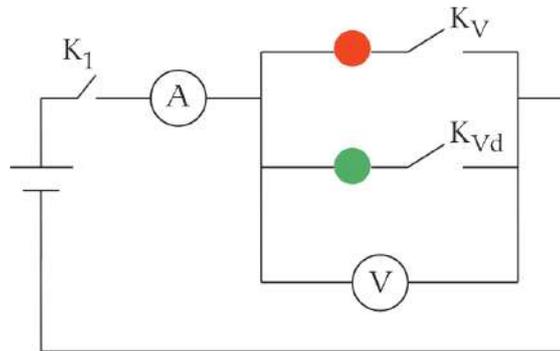


Figura 7 – Diagrama esquemático da experiência com LEDs para determinação da constante de Planck

Fonte: [Cavalcante et al. \(2002\)](#)

Nesse experimento, o circuito é montado e a tensão limiar U de acendimento dos LEDs é medida, para que depois, sabendo-se a frequência da luz de cada cor utilizada no experimento, utilize-se a equação

$$h \cdot f = e \cdot U, \quad (2.7)$$

para calcular a constante de Planck.

[Fish e Pope \(2008\)](#), publicaram um experimento no qual também é calculada a constante de Planck através da medição de tensões em LEDs. Para isso, são utilizados 5 LEDs (azul, verde, amarelo, laranja e vermelho) uma bateria de 6V, um resistor de 330Ω, um potenciômetro de 1kΩ, um voltímetro e fios com garras de jacaré nas extremidades. No procedimento, o circuito é montado conforme mostrado na figura 8, e o potenciômetro que inicialmente está setado para que o LED esteja apagado, vai sendo ajustado até o LED começar a brilhar. Repete-se esse procedimento para cada um dos LEDs, realizando sempre a leitura de suas tensões iniciais de acendimento.

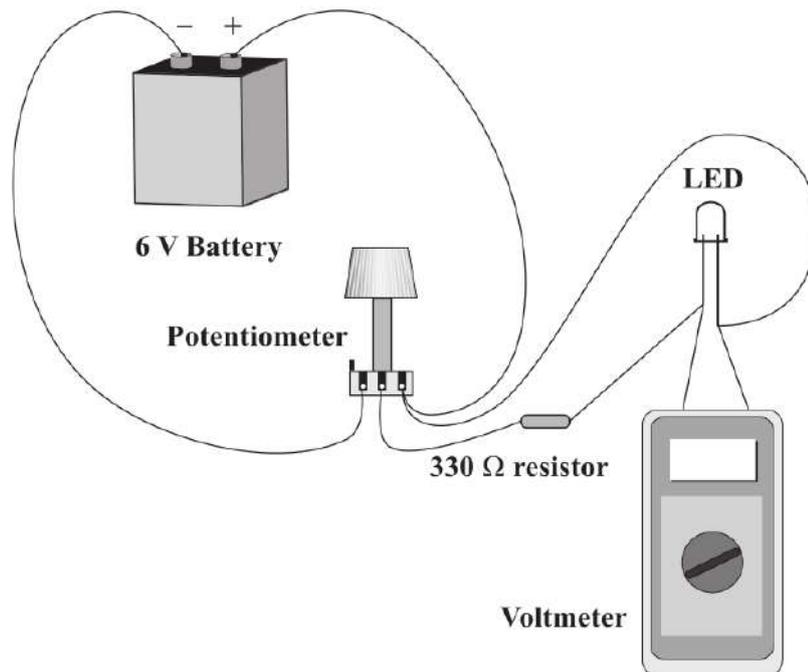


Figura 8 – Circuito do experimento para calcular a constante de Planck

Fonte: Fish e Pope (2008)

Na parte final do procedimento, é construído um gráfico da tensão elétrica medida em cada LED em função da frequência de cada uma das cores utilizadas no experimento. Feito isso, a partir do coeficiente angular da reta ajustada no gráfico (Figura 9), a constante de Planck é finalmente obtida utilizando-se também a equação 2.7.

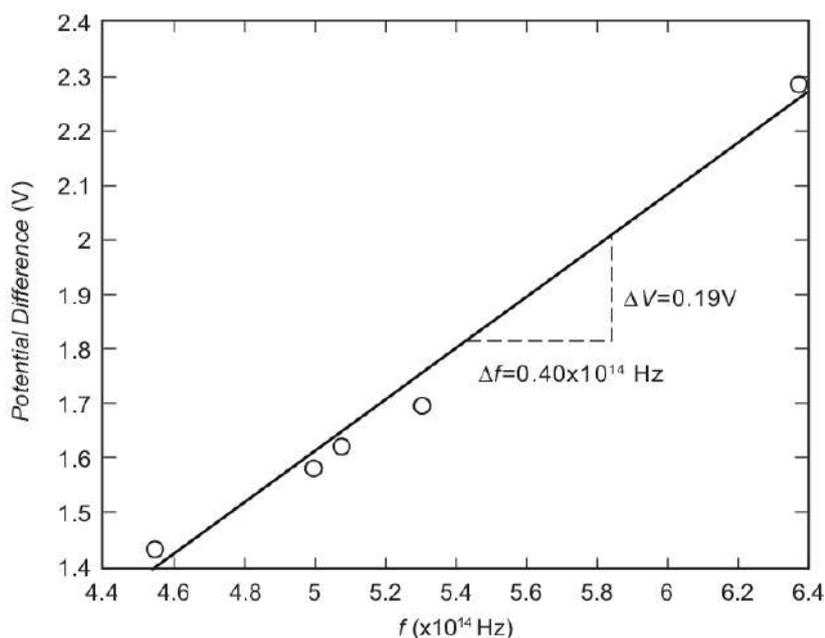


Figura 9 – Gráfico do experimento para calcular a constante de Planck

Fonte: Fish e Pope (2008)

2.3 Física

A seguir, os assuntos de Física do produto desse trabalho são complementados com um estudo mais detalhado de alguns dos tópicos abordados, possibilitando assim que o(a) professor(a) possa aprofundar seus conhecimentos e formar uma base mais sólida dos conteúdos de Física a serem trabalhados com os estudantes de suas turmas. Porém, não houve a intenção de esgotar todos os assuntos que poderiam ser estudados, sendo recomendado ao(a) professor(a) que deseje se aprofundar mais nos conteúdos abordados, uma consulta a literatura utilizada aqui como referência.

Começaremos abordando a *fusão nuclear*, para tratar como ocorrem as reações que geram a energia na nossa estrela, a qual se comporta como um corpo negro, motivo o qual seguiremos tratando do tema *radiação de um corpo negro*, descrevendo o contexto histórico de como os cientistas trabalharam no final do século XIX e início do século XX no desenvolvimento dos conhecimentos sobre esse assunto, que fez surgir uma nova Física, que nos permitiu explorar e entender assuntos relevantes ao estudo da energia solar. Em seguida, serão abordados os fenômenos que ocorrem com a energia solar em seu percurso do Sol até a superfície da Terra, como a redução da *irradiância solar* conforme essa energia se afasta da estrela, fenômeno esse explicado pelo *princípio da conservação da energia*, e a interação da radiação com a atmosfera da Terra, sendo mensurada nesta seção com a grandeza *massas de ar*. A *densidade espectral de potência* tratada em seguida, possibilitará ao leitor relacionar a potência da radiação solar recebida em cada comprimento de onda com o perfil da curva da radiação de um corpo negro. Por fim, serão abordadas *bandas de energia* e um modelo de *ligações químicas* para o estudo dos *semicondutores*, que são os materiais utilizados em *células fotovoltaicas* para captação da energia solar e sua transformação em eletricidade.

2.3.1 Produção da Energia Solar

No Sol, acontecem reações de fusão nuclear que produzem núcleos de átomos de hélio a partir de núcleos de átomos de hidrogênio, ou prótons. Essas reações ocorrem graças a um ambiente propício encontrado no centro do Sol, com pressão de mais de $1,0 \cdot 10^9 \text{ atm}$ e temperatura de cerca de $1,5 \cdot 10^7 \text{ K}$, resultando em uma potência irradiada de aproximadamente $3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$ da nossa estrela a partir da conversão de cerca de $4,2 \cdot 10^9 \text{ kg}$ de massa em energia a cada segundo (SMETS et al., 2016).

2.3.1.1 Fusão nuclear no Sol

Essas reações de fusão nuclear no Sol são conhecidas como *cadeia próton-próton* ou *ciclo próton-próton*. Sendo que, elas começam com um evento muito raro em que dois prótons (^1H) colidem e se fundem para formar um núcleo de deutério (^2H), um pósitron

(e^+) e um neutrino (ν)², sendo o pósitron aniquilado ao encontrar um elétron livre (e^-) do Sol e emitindo dois raios gama (γ) nessa aniquilação. O núcleo de deutério produzido segue então seu caminho e logo colide com outro próton para formar um núcleo de hélio 3 (^3He) e liberar mais um raio gama. Finalmente, quando dois núcleos de hélio 3 colidem e se fundem, forma-se um núcleo de hélio 4 (^4He), ou partícula alfa³, sendo liberados dois prótons desta última reação. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)

A massa inercial m de um corpo qualquer, está associada a sua energia E pela famosa equação de Einstein (NUSSENZVEIG, 1998)

$$E = m.c^2, \quad (2.8)$$

em que c , corresponde a velocidade da luz no vácuo, ou seja,

$$c \approx 2,998.10^8 m/s.$$

A partir da variação da massa inercial ocorrida nas reações descritas é possível calcular a energia que foi liberada pela estrela nas mesmas, utilizando-se para isso os valores de massa mostrados na tabela 1.

Tabela 1 – Massas atômicas dos elementos da cadeia próton-próton

Elem.	Massa
^1H	1,007825 u
^2H	2,014102 u
^3He	3,016029 u
^4He	4,002603 u
ν	desprezível
γ	0

Fonte: Molten Salt Energy Technologies, acessado em 06/09/2019 em:
<http://moltensalt.org/references/static/downloads/pdf/stable-isotopes.pdf>

Através desse cálculo, levando-se em consideração que a massa de $1u$ está associada a energia de $931,5\text{MeV}$, obtemos as energias liberadas em cada etapa das reações da cadeia próton-próton mostradas na figura 10,

² Apenas uma em cada 10^{26} colisões entre prótons no Sol formam um núcleo de deutério, regulando com essa lentidão a velocidade que os prótons são consumidos na estrela e impedindo assim que essa estrela consumisse rapidamente todos os seus prótons em uma violenta explosão (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

³ Uma colisão entre dois núcleos de hélio 3, para formar uma partícula alfa, ocorre no Sol em média a cada $1,0.10^5$ anos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). Tempo esse longo, mas devido a grande quantidade desses núcleos presentes na estrela, a energia liberada nessa reação assume papel relevante no balanço energético total.

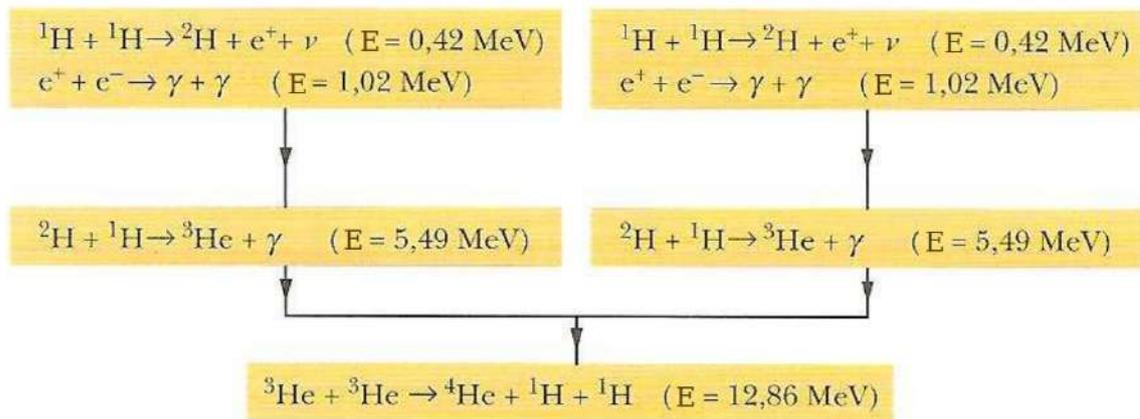
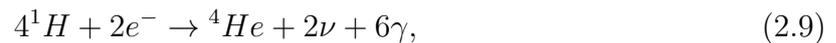


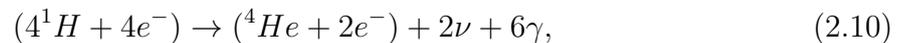
Figura 10 – Energias liberadas nas reações da cadeia próton-próton

Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2009)

podendo a equação global da reação ser representada por



e, somando-se dois elétrons de cada lado da equação 2.9, obtemos não mais apenas os núcleos dos átomos de hidrogênio e hélio, mas os átomos com seus elétrons, ou seja,



nos permitindo calcular de forma direta a energia liberada pelo Sol para forma um núcleo de hélio 4 a partir de quatro prótons, conforme demonstração a seguir:

$$-\Delta m = -(m_{Final} - m_{Inicial})$$

$$-\Delta m = -(4,002603u - 4 \times 1,007825u)$$

$$-\Delta m = 0,028697u$$

logo,

$$E = 0,028697u \times 931,5 \text{ MeV}/u$$

$$E \approx 26,7 \text{ MeV},$$

sendo esse valor, conforme esperado, corresponde a soma das energias parciais liberadas pelo Sol em cada uma das reações da cadeia próton-próton (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009), conforme mostrado a seguir:

$$E = 2 \times (0,42 + 1,02)MeV + 2 \times 5,49MeV + 12,86MeV$$

$$E \approx 26,7MeV.$$

2.3.2 Propagação da Energia Solar

Durante sua propagação, desde o Sol até atingir a superfície da Terra, a energia solar vai reduzindo a sua intensidade ao afastar-se da estrela, devido ao princípio da conservação da energia (Ver seção 2.3.2.2) e sofrendo atenuação ao interagir com os gases da atmosfera terrestre (Ver seção 2.3.2.3). Nas próximas seções serão tratados esses assuntos e para começar, será abordada como é a radiação emitida pelo Sol, ou, usando uma nomenclatura um pouco mais sofisticada, como é a radiação emitida por um corpo negro.

2.3.2.1 Radiação do corpo negro

Em equilíbrio térmico em um sistema, um *corpo negro* ideal apresenta como característica absorver toda a radiação eletromagnética que incide sobre ele, implicando que irá também emitir a maior potência de radiação em relação a qualquer outro corpo desse sistema. Um bom exemplo de um corpo com essas características, pode ser uma caixa oca, como um forno por exemplo, revestida com um ótimo material isolante, espelhada na superfície interior e com um pequeno orifício para a entrada da radiação (Figura 11), de forma que esta fique aprisionada em seu interior, sofrendo espalhamento nas paredes internas da caixa até ser absorvida. (STUDART, 2000)

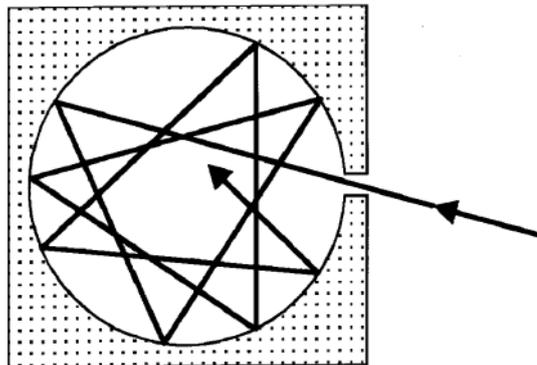


Figura 11 – Representação esquemática de um corpo negro

Fonte: Studart (2000)

Quando um metal é aquecido, pode-se observar que ele muda sua cor conforme sua temperatura aumenta, passando pela cor vermelha, depois amarela, até chegar finalmente em uma cor branca azulada em temperaturas bem altas. Nessas temperaturas bem altas, os corpos aquecidos podem emitir radiação eletromagnética em um largo espectro contínuo, contemplando diversos comprimentos de onda, como o ultravioleta, a luz visível e o principalmente o infravermelho, ou calor. (STUDART, 2001)

O Sol, que possui em sua superfície uma temperatura de aproximadamente 6000°C e emite radiação em um largo espectro eletromagnético contínuo, é um exemplo familiar de corpo negro a ser considerado (STUDART, 2000).

No final do século XIX aconteciam discussões relevantes na comunidade científica sobre a radiação emitida por um corpo negro. Os cientistas estudavam para isso a radiação emitida por um forno aquecido através de uma pequena abertura em uma de suas paredes, percebendo as mudanças descritas de cores em sua cavidade durante seu aquecimento (NUSSENZVEIG, 1998), e a maior parte da radiação emitida na faixa do infravermelho. Porém, esses cientistas enfrentavam um grande problema, pois não conseguiam determinar teoricamente a intensidade da energia da radiação emitida pelo corpo negro (STUDART, 2001).

Era teorizada, através da expressão que ficou conhecida como *lei do deslocamento de Wien*, descrita por Wilhelm Wien em 1893, que a distribuição espectral da densidade de energia ρ (energia por unidade de volume) emitida por um corpo negro poderia ser dada pela equação

$$\rho(f, T) = f^3 \cdot F\left(\frac{f}{T}\right), \quad (2.11)$$

em que $F\left(\frac{f}{T}\right)$ é uma função que depende apenas da frequência f e da temperatura T do corpo negro (STUDART, 2000).

Mas não era possível determinar somente através da termodinâmica ou do eletromagnetismo uma forma funcional para a função $F\left(\frac{f}{T}\right)$. Então, o próprio Wien propôs em 1896, através de argumentos dúbios, que essa função poderia ser descrita pela fórmula

$$F\left(\frac{f}{T}\right) = \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot \frac{f}{T}), \quad (2.12)$$

em que α e β são constantes, ajustando sua lei, sem uma boa fundamentação teórica, aos resultados experimentais observados até então (STUDART, 2000).

No início de 1900, uma equipe de cientistas formada por Lummer e Pringsheim e outra formada por Rubens e Kurlbaum conseguiram medir a radiação emitida por um corpo negro em frequências baixas nunca medidas até então, verificando que a fórmula de

Wien não expressava de forma correta a energia emitida por um corpo negro para essa região do espectro (STUDART, 2000).

Ainda em 1900, Lord Rayleigh (John William Strutt) descreve uma nova fórmula, posteriormente complementada por James Jeans em 1905, *lei de Rayleigh-Jeans*,

$$\rho(f, T)df = c_1 \cdot T \cdot f^2 \cdot \exp\left(-c_2 \cdot \frac{f}{T}\right), \quad (2.13)$$

em que c_1 e c_2 são constantes, que conseguiu obter bons resultados para as regiões do espectro em que a fórmula de Wien não era válida, porém, falhava nas previsões para altas frequências, divergindo expressivamente dos resultados experimentais observados para a região do ultravioleta (Ver figura 12), e tendo inclusive esse resultado falho apontado por Alberto Einstein,

$$\int \rho(f, T)df \propto \int_0^{\infty} f^2 df = \infty, \quad (2.14)$$

fazendo com que esse resultado passasse a ser conhecido posteriormente como a "catastrofe do ultravioleta" (STUDART, 2000).

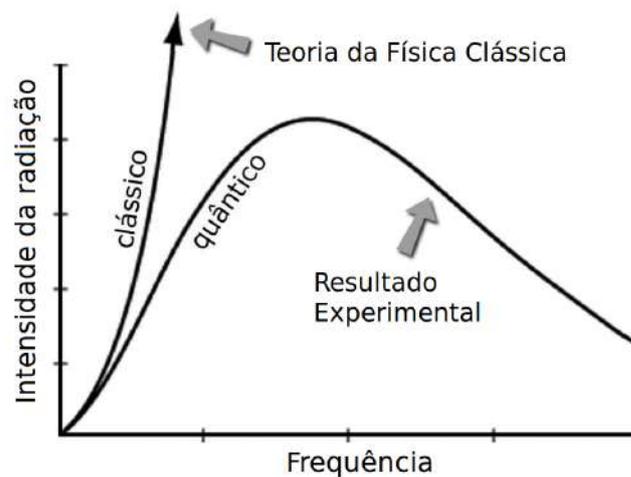


Figura 12 – Distribuição espectral da radiação térmica segundo lei de Rayleigh-Jeans x resultado experimental

Fonte: Adaptado de Nussenzveig (1998)

No final do ano 1900, buscando a todo custo uma explicação para o fenômeno observado, e com certa relutância, o cientista alemão Max Planck apresentou à Sociedade Alemã de Física uma nova teoria capaz de resolver o problema, a qual rompia com a antiga teoria da física clássica, ao postular que a energia dos osciladores que representavam os átomos na superfície da cavidade do forno só poderia ter valores que fossem múltiplos inteiros de um *quantum de energia*, ou seja, a energia deveria ser *quantizada*, não podendo

assim assumir qualquer valor, e sim apenas valores que fossem múltiplos de uma nova constante h ,

$$h \cong 4,136.10^{-15} eV.s \cong 6,6261.10^{-34} J.s,$$

que em sua homenagem recebeu o nome de *constante de Planck* (Ver equação 2.15) (NUSSENZVEIG, 1998).

$$E = h.f \tag{2.15}$$

Aplicando essa nova teoria em estudos que desenvolveu com a mecânica estatística, Planck formulou uma equação capaz de representar de forma correta a radiação emitida por um corpo negro em qualquer região do espectro eletromagnético,

$$\rho(f, T) = \frac{8\pi}{c^3} \frac{h.f^3}{e^{h.f/k.T} - 1} \tag{2.16}$$

em que k corresponde a constante de Boltzmann,

$$k \cong 8,62.10^{-5} eV/K \cong 1,381.10^{-23} J/K,$$

e c a velocidade da luz no vácuo. (STUDART, 2000).

2.3.2.2 Princípio da conservação da energia da radiação

Para entender a relação entre a distância de uma fonte de luz e intensidade dessa luz, imagine que uma área A inicialmente posicionada a uma distância d do centro da fonte dessa luz, estivesse sendo atravessada por uma certa intensidade dessa radiação, depois, essa mesma área fosse reposicionada ao dobro da distância inicial, ou seja, a uma distância $2.d$. Seria possível verificar com esse reposicionamento que a intensidade da radiação que atravessa essa mesma área seria agora 4 vezes menor que a que a atravessava inicialmente, pois agora a nova área necessária para interceptar a totalidade da mesma radiação seria 4 vezes maior que a inicial (Figura 13).

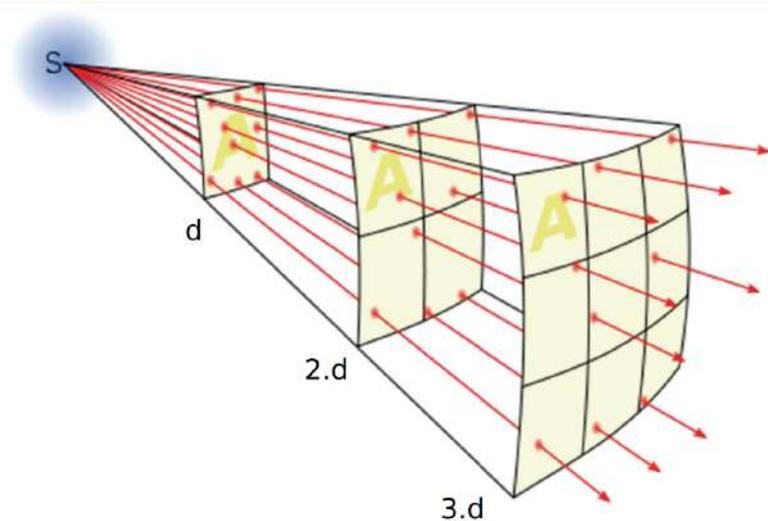


Figura 13 – Representação da redução da intensidade de uma dada radiação ao se afastar de sua fonte

Fonte: Wikimedia Commons, acessado em 20/3/2019 no endereço:
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3816716>

A partir de Griffiths (2011), verifica-se que é possível obter a intensidade dessa radiação solar que incide em uma área A , a uma distância r do centro do Sol, através da equação 2.17, em que S corresponde a potencia solar emitida pela estrela e I corresponde a intensidade da radiação solar incidente na área descrita, ou em outra palavras, irradiância solar (Ver seção 2.3.2.5):

$$S = \int_A I dA \quad (2.17)$$

E, utilizando-se coordenadas polares esféricas, temos que:

$$S = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} I \cdot r^2 \cdot \sin\theta d\theta d\varphi \quad (2.18)$$

Resultando na simplificação a seguir (Equação 2.19):

$$I = \frac{S}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (2.19)$$

2.3.2.3 Massas de ar

Já a atenuação da radiação solar devido a sua interação com os gases da atmosfera terrestre, tem uma relação direta com a distância que a radiação percorre para atravessar essa atmosfera, sendo utilizada a grandeza *massas de ar*, a fim de relacionar a intensidade da radiação após ela atravessar toda a atmosfera em uma dada região do planeta, até atingir a sua superfície.

No estudo da energia solar, *massas de ar* pode ser definida como a razão entre a distância percorrida pela radiação solar do topo da atmosfera até um dado local da superfície da Terra (Y) e a distância que seria percorrida por essa radiação entre o topo da atmosfera e a superfície da Terra no zênite ao nível do mar (X), ou seja, a distância que seria percorrida considerando que o Sol estivesse posicionado exatamente vertical sobre o local em estudo e esse local estivesse no nível do mar. (Ver figura 14) (SMETS et al., 2016)

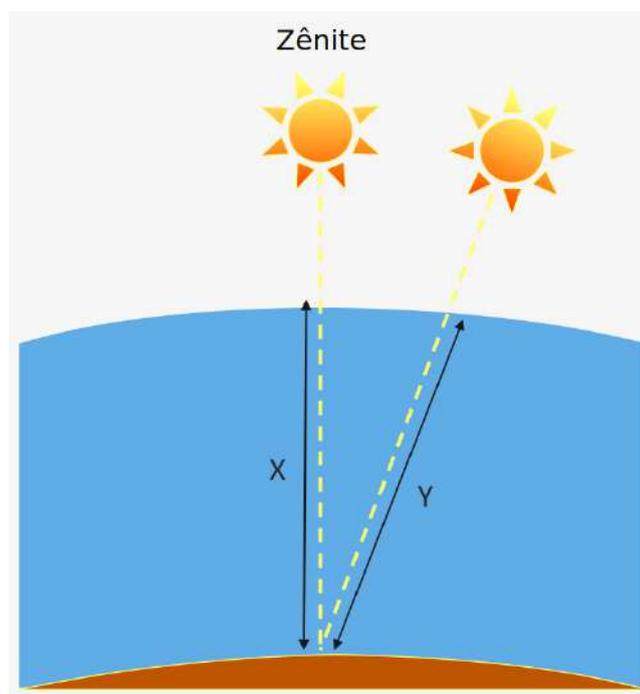


Figura 14 – Distâncias envolvidas no levantamento de *massas de ar*

Fonte: Plataforma edX, Curso: Solar Energy, acessado em 27/9/2018 em: <https://www.edx.org/>

Logo, massas de ar pode ser obtida utilizando-se a equação 2.20 (SMETS et al., 2016).

$$AM = \frac{Y}{X} \quad (2.20)$$

Para um dia de céu limpo, a intensidade da radiação solar que incide em um dada área na superfície da Terra, ou em outra palavras, irradiância solar (Ver seção 2.3.2.5), pode ser relacionada ao valor das massas de ar para aquele local da Terra. Sendo que, uma irradiância de $1000W/m^2$ corresponde a massas de ar AM1.5 (SMETS et al., 2016).

No estudo da energia solar, sempre que são consideradas condições padrões na realização de testes, STC (Standard Test Conditions), é utilizada radiação equivalente a massas de ar AM1.5 (SMETS et al., 2016).

2.3.2.4 Densidade espectral de potência

A densidade espectral de potência $P(\lambda)$ especifica o valor da potência da radiação solar recebida de um dado comprimento de onda (UV, azul, infravermelho, ...) em um certo local (SMETS et al., 2016).

A figura 15 nos mostra a densidade espectral de potência proveniente do Sol, recebida na superfície da Terra em um local com AM1.5, para comprimentos de onda de até 4000nm do espectro solar incidentes.

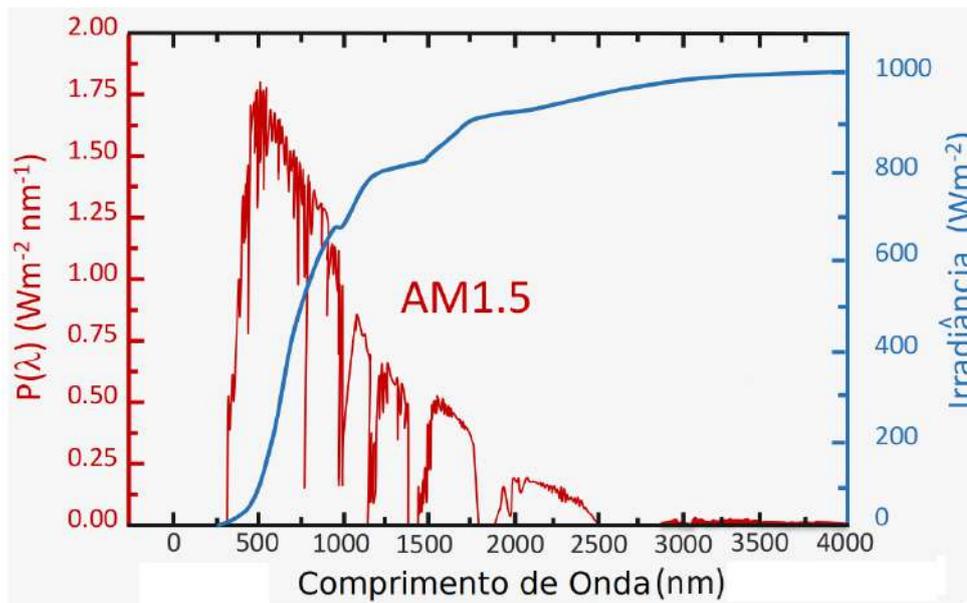


Figura 15 – Irradiância e densidade espectral de potência na Terra

Fonte: Plataforma edX, Curso: Solar Energy, acessado em 27/9/2018 em: <https://www.edx.org/>

2.3.2.5 Irradiância solar

A irradiância solar I pode ser descrita como a intensidade da energia proveniente do Sol que incide em uma dada área por um certo tempo, ou em outras palavras, a potência solar incidente em uma dada área (SMETS et al., 2016).

A irradiância solar média incidente no topo da atmosfera da Terra foi de $1360,8 \pm 0,5\text{W}/\text{m}^2$ no ano de 2008 (NASA, 2019).

É possível obter a irradiância a partir da densidade espectral de potência utilizando-se a equação 2.21 (SMETS et al., 2016).

$$I = \int_0^\lambda P(\lambda)d\lambda \quad (2.21)$$

A figura 15 nos mostra a irradiância solar recebida na superfície da Terra, acumulada em todos os comprimentos de onda do espectro solar, incidente em um local com AM1.5.

2.3.3 Captação e Utilização da Energia Solar

Nas próximas seções, serão abordados alguns princípios físicos de materiais necessários para um bom entendimento do funcionamento de células solares.

2.3.3.1 Bandas de energia

Quando temos um material sólido arranjado em uma estrutura atômica periódica, formam-se a partir dos níveis de energia de ligação dos átomos isolados, bandas de energia permitidas para ocupação de elétrons, separadas umas das outras por bandas proibidas, ou *gaps* (Figura 16). (CAVALCANTE et al., 2002)

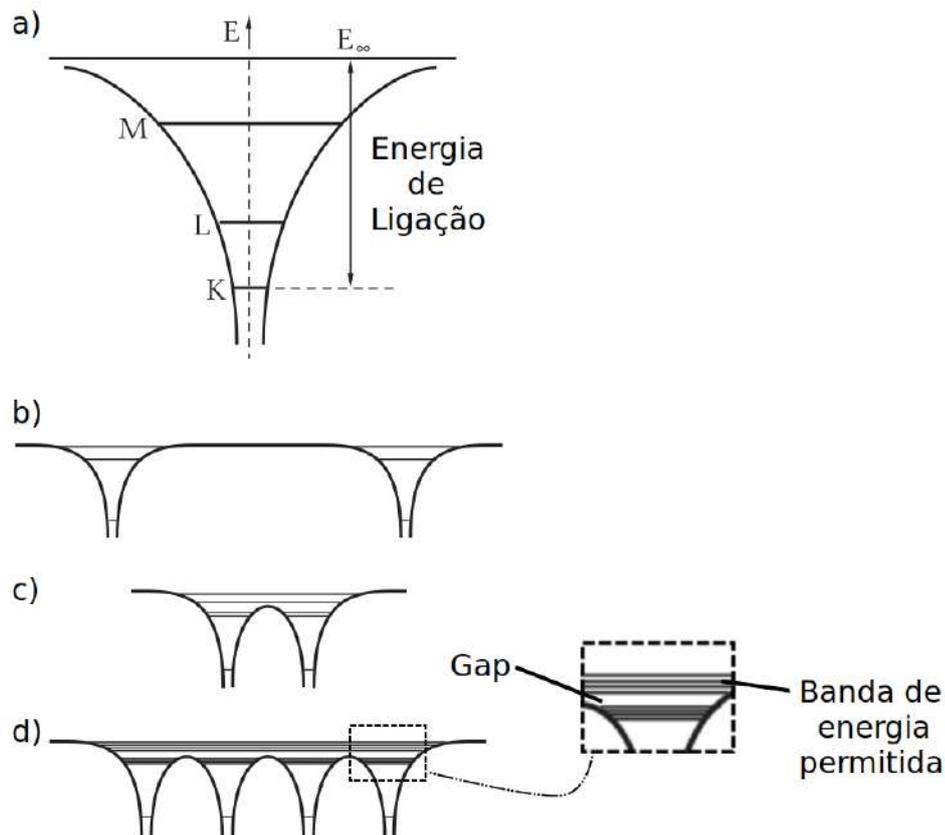


Figura 16 – a) Níveis de energia permitidos para os elétrons de um átomo isolado. b) c) e d) Formação de bandas de energia permitidas para elétrons através das associações atômicas crescentes com a diminuição das distâncias interatômicas.

Fonte: Adaptado de Cavalcante et al. (2002)

Essas bandas de energia permitidas são formadas por vários estados de energia permitidos em cada uma, que por estarem muito próximos uns dos outros, podem ser considerados, na maior parte dos casos, como estados contínuos de energia (Figura 17). (GRIFFITHS, 1994)

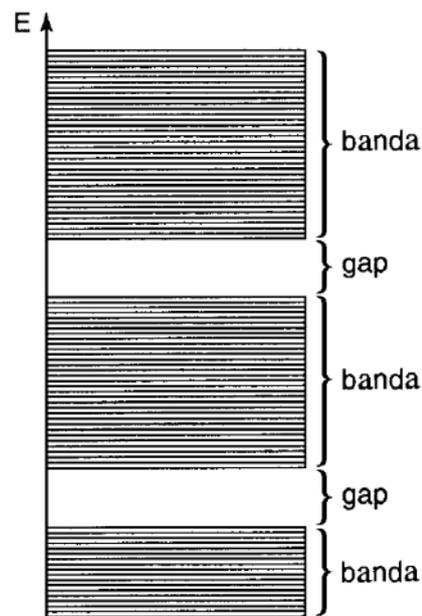


Figura 17 – Bandas de energia permitidas e gaps

Fonte: Griffiths (1994)

Um sólido se comporta como um *isolante* se todas as bandas de energia permitidas estiverem cheias ou vazias, pois se um campo elétrico for aplicado, nenhum elétron conseguirá se mover. Porém, se um sólido se comportar como um *condutor*, uma ou mais bandas de energia estarão parcialmente preenchidas. Quando dizemos parcialmente preenchidas, dizemos que estas bandas estarão preenchidas entre 10% e 90%. Já quando o sólido se comporta como um *semicondutor*, sem impurezas, isto ocorre devido a efeitos de temperatura e de um gap pequeno, fazendo com que este fique com uma ou duas bandas ligeiramente preenchidas ou levemente vazias (Figura 18) ⁴. (KITTEL, 2005)

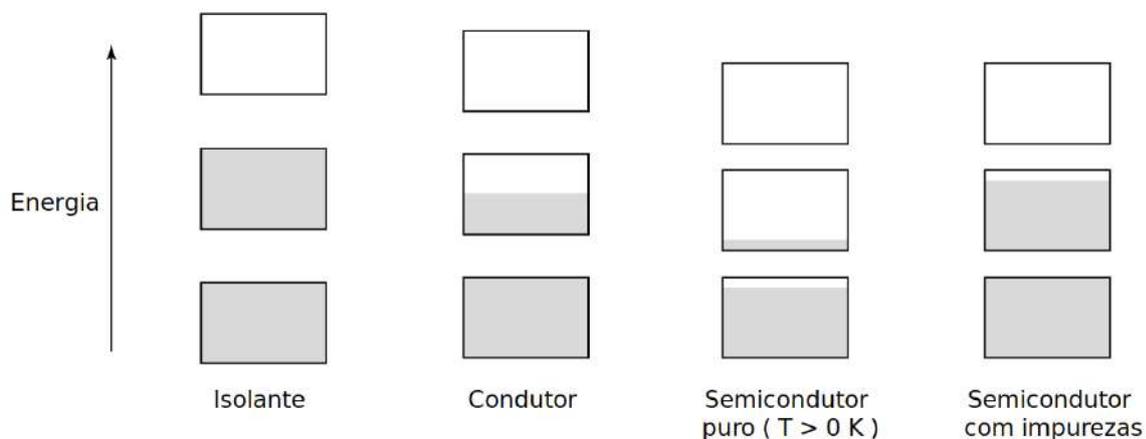


Figura 18 – Modelo esquemático de ocupação de elétrons nas bandas permitidas nos materiais

Fonte: Adaptado de Kittel (2005)

⁴ Conforme será descrito com mais detalhes na seção 2.3.3.2, um semicondutor puro (como o silício) torna-se um isolante na temperatura de zero absoluto.

A condução de eletricidade em um sólido acontece em uma banda de energia permitida parcialmente preenchida pelos elétrons devido ao fato dessa banda ser formada por vários estados de energia infinitamente próximos, implicando que, para um elétron ser excitado e subir de um estado de energia para um outro dentro dessa mesma banda, a qual está parcialmente preenchida ou vazia, a energia necessária é relativamente baixa. (NUSSENZVEIG, 1998)

Por outro lado, como os materiais isolantes possuem todas as bandas de energia permitidas cheias ou vazias, só poderiam conduzir eletricidade se elétrons saltassem o gap entre a última banda preenchida (*banda de valência*) e a próxima banda mais externa (*banda de condução*). Mas isso somente seria possível se os elétrons fossem excitados com uma energia (ΔE) relativamente alta (Figura 19). (NUSSENZVEIG, 1998)

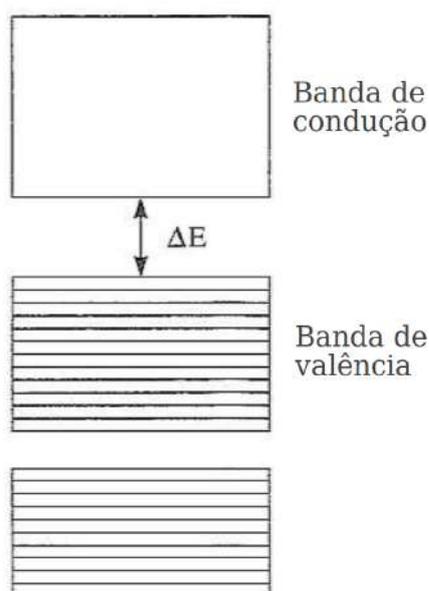


Figura 19 – Bandas de energia de um material Isolante

Fonte: Adaptado de Nussenzveig (1998)

Já os materiais semicondutores, além estarem com uma ou duas bandas ligeiramente preenchidas ou levemente vazias (KITTEL, 2005), diferem dos isolantes neste ponto por possuírem o gap entre a banda de valência e a banda de condução capaz de ser saltado por um elétron excitado com uma energia (ΔE) relativamente pequena (NUSSENZVEIG, 1998), aumentando assim sua capacidade de condução (Figura 20).

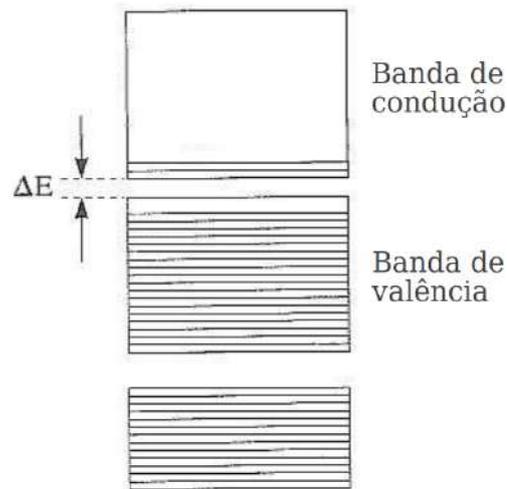


Figura 20 – Bandas de energia de um material Semicondutor

Fonte: Adaptado de [Nussenzveig \(1998\)](#)

A energia necessária que um elétron precisa receber para saltar da banda de valência para a banda de condução é denominada como *energia do gap*, sendo que, os materiais isolantes tem como uma de suas características possuírem a energia do gap maior que $3eV$ ([SMETS et al., 2016](#)).

Os elétrons citados nesta seção, responsáveis pela condutividade elétrica de um material ao ocupar neste uma banda de energia parcialmente preenchida, são frequentemente chamados de *elétrons livres*, por serem elétrons que podem se movimentar pela estrutura desse material, não estando presos aos núcleos atômicos do mesmo.

2.3.3.2 Semicondutores

As primeiras células solares construídas foram fabricadas com silício cristalino, sendo este o material ainda hoje mais amplamente utilizado para fabricação desses equipamentos pelo mundo ([SMETS et al., 2016](#)). Logo, embora existam muitos outros materiais empregados na fabricação dessas células, será dada ênfase a este material nessa e nas próximas seções desse capítulo.

O silício é um material semicondutor que forma uma rede cristalina em que cada átomo faz uma ligação tetraédrica com os quatro átomos vizinhos mais próximos (Ver figura 21), resultando em um material que, assim como os outros materiais semicondutores, aumenta sua condutividade elétrica com a excitação dos seus elétrons, podendo essa ocorrer através do aumento da temperatura desse material. Sendo também o processo inverso válido, ou seja, um material semicondutor puro reduz sua condutividade elétrica diminuindo a excitação de seus elétrons, podendo essa ocorrer através da redução de sua temperatura, implicando que, este material tornar-se um isolante a medida que sua temperatura tende ao zero absoluto. ([FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008](#))

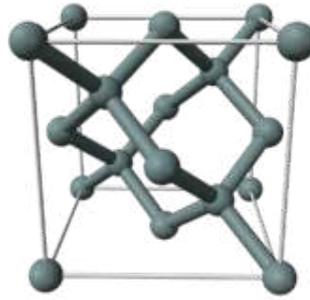


Figura 21 – Estrutura cristalina do silício

Fonte: Wikipedia, acessado em 04/09/2019 em: https://en.wikipedia.org/wiki/Monocrystalline_silicon

Semicondutor intrínseco

As ligações tetraédricas dos átomos do silício são feitas através de ligações covalentes, ou seja, compartilhamentos dos elétrons das camadas de valência de um átomo com os dos átomos vizinhos. Sendo que, quando um desses elétrons ganha energia suficiente para fazer com que a sua ligação covalente seja quebrada, aumenta a condutividade elétrica do material, com esse elétron se tornando um elétron livre e ficando em seu lugar uma lacuna, ou, como normalmente é chamado, um *buraco* (Ver figura 22) (SMETS et al., 2016).

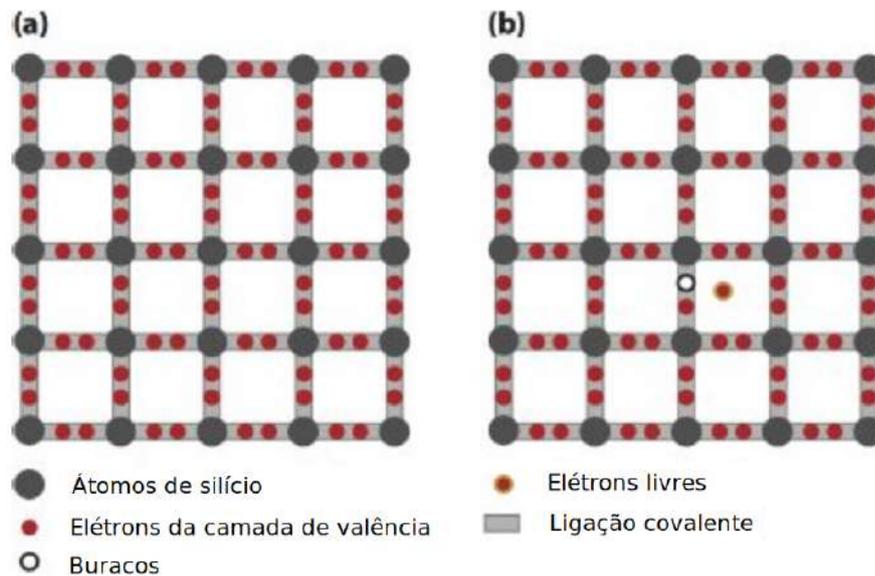


Figura 22 – (a) Modelo bidimensional de estrutura cristalina de silício. (b) Modelo bidimensional de estrutura cristalina de silício com elétron livre e buraco.

Fonte: Smets et al. (2016)

Quando por alguma razão, esse cristal de silício ganha um elétron livre, esse elétron passa a ser capaz de movimentar-se pela estrutura cristalina do material. Por outro lado, quando por alguma razão um átomo desse cristal de silício perde um elétron de sua camada de valência, fica em seu lugar um buraco, que pode ser preenchido por um elétron

vizinho, que deixa um novo buraco onde estava, causando um comportamento que pode ser descrito como um buraco saltando de um átomo para outro átomo vizinho ou, como se fosse uma partícula positiva que se move pelo cristal de silício. (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008)

Os materiais que possuem uma estrutura e um comportamento conforme descrito anteriormente, são chamados de semicondutores puros ou *semicondutores intrínsecos*.

Semicondutor extrínseco

Uma outra maneira de produzir elétrons livres ou buracos em um material é adicionar impurezas em sua estrutura, ou seja, átomos de outro elemento químico que possua mais ou menos elétrons em sua camada de valência, fazendo assim o material ganhar respectivamente elétrons extras ou buracos em sua estrutura. Dizemos que esse material foi *dopado*, chamando-o de *semicondutor extrínseco*.

Por exemplo, quando um cristal de silício é dopado com átomos de fósforo, o qual possui cinco elétrons na sua camada de valência, a estrutura do material passa a ter um elétron livre para cada átomo de fósforo adicionado (Ver figura 23a), e como os átomos de fósforo aumentam a concentração de elétrons na estrutura do material, recebem a denominação de *doadores* de carga. Já quando um cristal de silício é dopado com átomos de boro, o qual possui três elétrons na sua camada de valência, a estrutura do material passa a ter um buraco para cada átomo de boro adicionado (Ver figura 23b), e como os átomos de boro aumentam a concentração de buracos na estrutura do material, recebem a denominação de *aceitadores* de carga (SMETS et al., 2016).

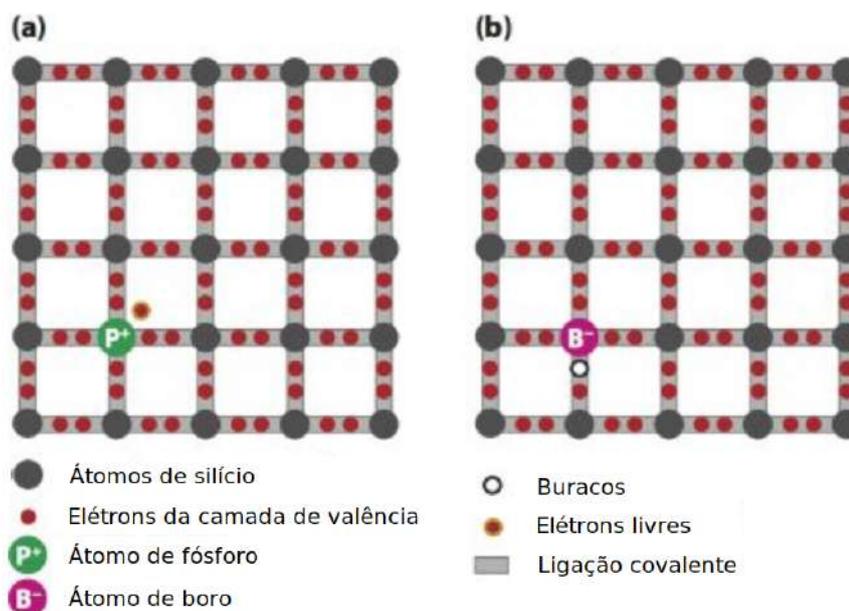


Figura 23 – (a) Modelo bidimensional de estrutura cristalina de silício dopada com fósforo. (b) Modelo bidimensional de estrutura cristalina de silício dopada com boro.

Fonte: Smets et al. (2016)

Para o exemplo dado anteriormente, embora os doadores (átomos de fósforo) e os aceitadores (átomos de boro) fiquem respectivamente positiva e negativamente ionizados na estrutura cristalina do silício, o material como um todo permanece neutro, visto que o doador fornece um elétron livre e o aceitador um buraco para esse material (SMETS et al., 2016).

2.3.3.3 Junção p-n

Quando um material semiconductor é construído para formar uma junção com duas camadas, sendo uma dopada com doadores de carga (Ex.: silício dopado com fósforo) e outra com receptores de carga (Ex.: silício dopado com boro)⁵, na ausência de um campo elétrico externo, surge na interface entre as duas camadas dos materiais, ou como é denominada, *junção p-n*, uma região chamada de *zona de depleção*, possuindo uma *barreira de potencial* formada pelo campo elétrico gerado pelos doadores e receptores de carga ionizados, ou seja, presentes respectivamente sem seus elétrons livres e buracos, devido ao preenchimento nesta região da junção, dos buracos pelos elétrons livres (processo de *recombinação*). Os íons sem suas cargas livres fazem com que esse campo elétrico seja direcionado da camada dos doadores de carga, ou como é denominada, *camada tipo N*, para a camada dos receptores de carga, ou como é denominada, *camada tipo P* (Figura 24) (SMETS et al., 2016).

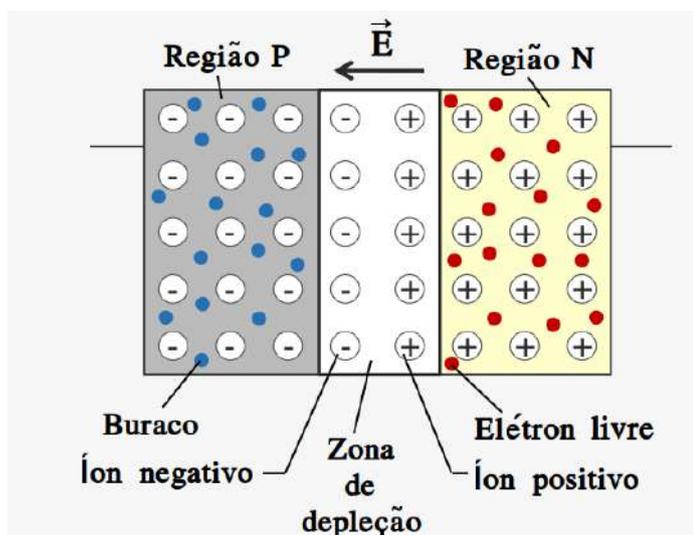


Figura 24 – Junção p-n

Fonte: Plataforma edX, Curso: Solar Energy, acessado em 27/9/2019 em: <https://www.edx.org/>

⁵ De fato, não é algo factível construir uma junção a partir da união de duas camadas separadas, pois seria muito difícil obter um bom contato em escala atômica entre as mesmas, logo, na prática é utilizado um único cristal, dopado com elementos diferentes em regiões separadas (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008).

2.3.3.4 Efeito fotovoltaico

Quando um fóton de luz incide no material semicondutor, e a energia desse fóton é igual ou maior que a *energia do gap*, ou seja, suficiente para excitar um elétron, quebrando a ligação covalente deste na estrutura do material, e fazendo-o saltar da banda de valência para a banda de condução, esse elétrons passará a ser um elétron livre e será gerado um buraco na banda de valência, antes preenchido pelo elétron que foi excitado (Figura 25). Já quando a energia do fóton é menor que a energia do gap, o fóton será perdido, não sendo absorvido pelo material. (SMETS et al., 2016)

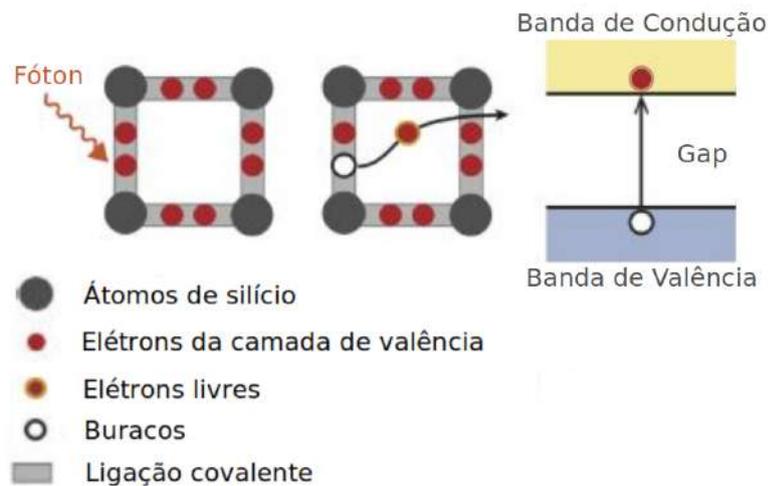


Figura 25 – Geração de um par elétron-buraco

Fonte: Adaptado de Smets et al. (2016)

Quando o fenômeno anterior ocorre em uma junção p-n, o elétron e o buraco são separados devido ao campo elétrico existente da zona de depleção. O elétron é então direcionado para a região tipo N e o buraco para a região tipo P, sendo dado o nome de *efeito fotovoltaico* a esse fenômeno. Caso os dois lados da junção sejam ligados a um circuito externo, os elétrons e buracos gerados farão com que surja uma corrente elétrica alimentando esse circuito, originária da conversão da energia luminosa em energia elétrica. (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008)

3 Descrição do Produto Educacional

O produto desse trabalho tem como tema central o estudo da energia solar, abordando assuntos de Física relacionados a produção da energia solar na nossa estrela, sua propagação pelo espaço e atmosfera da Terra e sua captação e utilização aqui na superfície do nosso planeta. Logo, o conteúdo do material abordará a fusão nuclear, a radiação eletromagnética e a Física da matéria condensada.

Trata-se de um material diversificado para ensinar Física, tendo sido desenvolvido para que o(a) professor(a) que for aplicá-lo possa assumir uma posição de gestor(a) do processo de ensino e aprendizagem, tendo a sua disposição uma sequência didática com toda teoria dos assuntos tratados disponibilizada para os estudantes em um ambiente virtual de aprendizagem (AVA)¹, além de roteiros de demonstrações, experimentos e quizzes para os estudantes jogarem em times.

O objetivo da metodologia utilizada é que os estudantes possam assumir uma posição ativa no processo de ensino e aprendizagem, e que, através do uso do material, o(a) professor(a) na sala de aula tenha tempo para trabalhar as dificuldades individuais desses estudantes, conduza discussões relevantes sobre os assuntos tratados, além de realizar as demonstrações, experimentos e os quizzes elaborados.

O material desse produto foi elaborado para ser aplicado na seguinte sequência:

- Aula Introdutória: Mapa conceitual de conhecimentos prévios
- AVA: Fusão e Fissão Nuclear
- Demonstração: Redução de massa na Fusão Nuclear
- AVA: Fusão Nuclear no Sol
- Jogo de quiz: Reações Nucleares
- AVA: Energia da Radiação
- Experimento: Determinação dos comprimentos de onda das cores
- AVA: Espectro da radiação (Inclui simulação no PhET sobre Radiação do Corpo Negro)
- Jogo de quiz: Radiação Solar
- AVA: Energia Fotovoltaica e Heliotérmica

¹ <https://sites.google.com/view/energiadosol/energia-solar>

- Demonstração: Utilização de módulos fotovoltaicos para captação da energia da luz e alimentação de circuitos eletroeletrônicos.
- Experimentos: Associação em série e paralelo de módulos fotovoltaicos
- AVA: Células e Módulos Fotovoltaicos
- Jogo de quiz: Células e Módulos Fotovoltaicos
- Aula Final: Mapa conceitual de conhecimentos pós instrução

3.1 Ambiente virtual de aprendizagem (AVA)

A seguir, estão disponibilizadas para o(a) professor(a) explicações sobre o uso do material usando o AVA, no qual, a fim de facilitar sua navegação pelo mesmo, o(a) professor(a) pode ter acesso ao índice das seis aulas que foram elaboradas no link do rodapé².

3.1.1 AVA: Fusão e fissão nuclear

A teoria abordada neste trabalho, começa introduzindo os estudantes ao conceito do que é uma reação de fusão nuclear, tendo como objetivo fazer com que estes aprendam a diferenciar esse tipo de reação da reação de fissão nuclear, e os façam entender quais as condições necessárias para a mesma ocorrer.

Iniciando os estudos, os estudantes assistem o vídeo *Fusão Nuclear x Fissão Nuclear*³, o qual aborda as diferenças entre essas duas reações nucleares, possibilitando assim um entendimento básico de como a fusão nuclear ocorre e esclarecendo para estes estudantes que a produção comercial de energia através da reação de fusão nuclear ainda não ocorre em nosso planeta.

Os estudantes seguem na aula respondendo algumas questões para praticar⁴ os assuntos tratadas no vídeo, e depois, realizam a leitura de um texto de divulgação científica publicado pela FAPESP em 05/01/2018, falando sobre o trabalho de um cientista brasileiro relacionado a um dos projetos mais ambiciosos já desenvolvidos no mundo até hoje, a construção do reator de fusão nuclear ITER⁵. Espera-se com isso, que os estudantes adquiram a percepção de que este é um tema moderno e que existe um vasto campo de pesquisa para estes trabalhos, o qual deverá receber muitos jovens cientistas nos próximos anos.

² <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas>

³ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-e-fissao-nuclear/ai-introducao>

⁴ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-e-fissao-nuclear/ai-praticar>

⁵ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-e-fissao-nuclear/ai-atualidades>

No final desta primeira aula usando o AVA, os estudantes são solicitados a refletir⁶ sobre o que leva uma pequena quantidade de matéria a liberar quantidades de energia tão grandes em uma reação nuclear. A ideia dessa reflexão é despertar nos estudantes a curiosidade sobre o assunto da próxima aula usando o AVA, a qual irá introduzir os conceitos de equivalência entre energia e massa.

3.1.2 AVA: Fusão nuclear no Sol

Após a introdução dada na aula anterior, chegamos a aula que aborda com mais detalhes como ocorrem as reações de fusão nuclear no Sol, produzindo núcleos de hélio a partir de núcleos de hidrogênio. O objetivo desta aula é fazer com que os estudantes aprendam a calcular a energia liberada em uma dessas reações. Para isso, os estudantes assistem inicialmente o vídeo *Reações Nucleares no Sol*⁷, o qual explica a cadeia próton-próton das reações que ocorrem nesse processo (Figura 26).

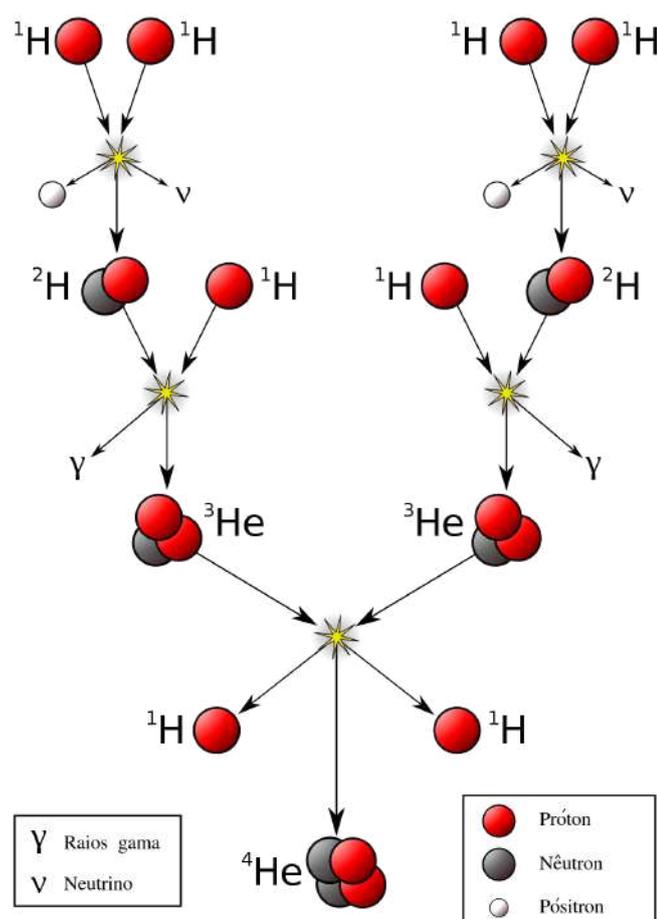


Figura 26 – Representação da cadeia próton-próton

Fonte: Wikipedia, acessado em 26/1/2019 no endereço https://en.wikipedia.org/wiki/Proton-proton_chain_reaction

⁶ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-e-fissao-nuclear/ai-refletir>

⁷ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-nuclear-no-sol/aia-introducao>

Feito isso, os estudantes seguem com a leitura de um material⁸ que explica como são feitos os cálculos para se obter o valor da energia liberada em uma reação de fusão nuclear. Nessa parte do material, é apresentada aos estudantes uma das mais famosas equações da Física, descrita por Albert Einstein (Equação 2.8). É dado como exemplo aos estudantes, o cálculo da energia liberada na formação de um núcleo de hélio a partir dos quatro núcleos de hidrogênio que ficam na reação.

Os estudantes seguem então com algumas questões para praticar⁹ o que foi ensinado até aqui, e finalizam a aula respondendo uma pergunta que os façam refletir¹⁰ sobre os diferentes tipos de radiação emitidas pelo Sol, como por exemplo o calor, a luz ou mesmo a radiação ultravioleta, despertando assim a curiosidade nos estudantes sobre o assunto que será tratado com mais detalhes na próxima aula usando o AVA.

3.1.3 AVA: Energia da radiação

Após os estudantes trabalharem o tema da fusão nuclear, o curso segue com o estudo da energia da radiação emitida pelo Sol, iniciando com esses estudantes assistindo ao vídeo *Luz e Radiação*¹¹, o qual, a partir de um enfoque na natureza da luz, introduz a ideia de fóton, espectro eletromagnético e da relação entre cada uma de suas faixas com os diferentes comprimentos de onda relacionados.

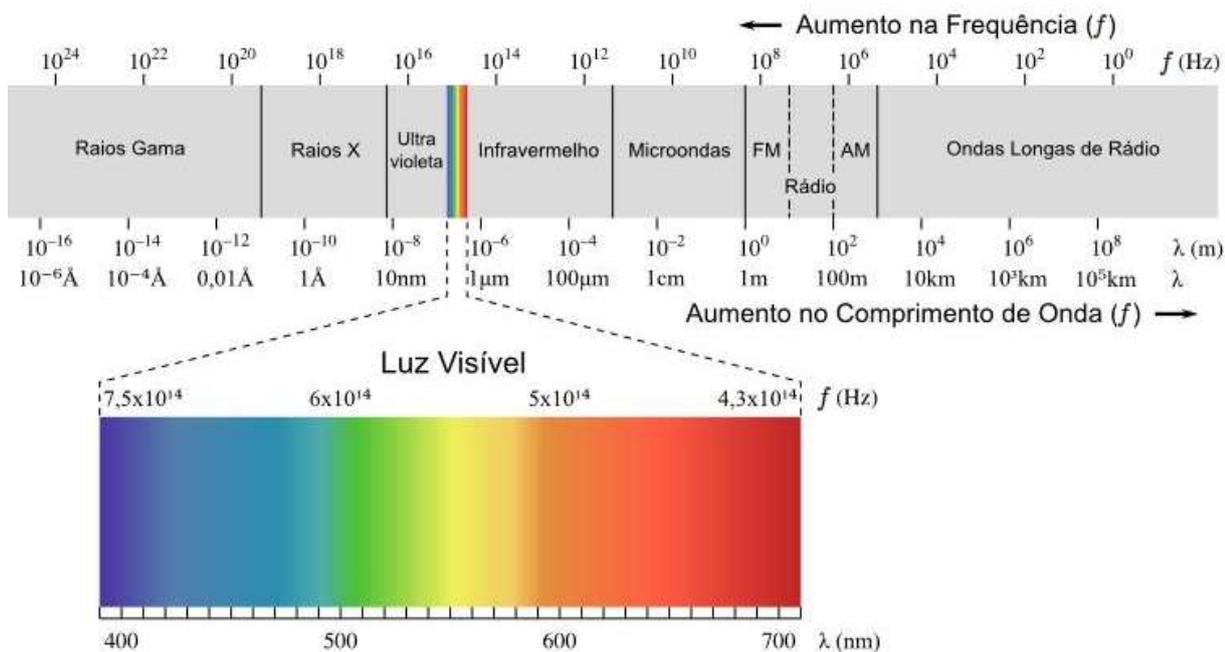


Figura 27 – Espectro eletromagnético

Fonte: Wikipédia, acessado em 6/4/2019 no endereço https://pt.wikipedia.org/wiki/Radiação_eletromagnética

⁸ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-nuclear-no-sol/aai-desenvolvimento>

⁹ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-nuclear-no-sol/aai-praticar>

¹⁰ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-nuclear-no-sol/aai-refletir>

¹¹ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-da-radiacao/aaii-introducao>

Depois, os estudantes prosseguem com a leitura de um material¹² que explica como calcular a energia de um fóton de determinada radiação a partir do comprimento de onda ou frequência dessa radiação. O objetivo é fazer com que esses estudantes entendam que se trata de uma radiação eletromagnética que se propaga pelo espaço como radiação, mas também como fótons, com uma energia (E) *quantizada*, que pode ser calculada a partir do comprimento de onda (λ) dessa radiação e duas constantes (Equação 3.1), sendo essas a velocidade da luz no vácuo (c) e a constante de Planck (h), ou mesmo, através da frequência (f) da radiação (Equação 2.15)

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (3.1)$$

A fim de evitar fugir do foco principal desta aula, não foi abordado aqui o assunto dualidade onda partícula, mas durante as aulas é possível que algum estudante faça um questionamento nesse sentido, abrindo espaço para o(a) professor(a) discutir esse assunto na sala de aula caso tenha interesse.

Finalizando a abordagem teórica dessa aula, será explicado aos estudantes como converter a energia entre as unidades de medida *Joule* e *elétron – volt* (Ver relação em 3.2).

$$1eV \cong 1,6 \cdot 10^{-19} J \quad (3.2)$$

Os estudantes seguem então com algumas questões para praticar¹³ o que foi tratado nesta aula, e finalizam respondendo uma pergunta que os façam refletir¹⁴ sobre o que faz com que vejamos aqui da Terra o Sol amarelo, ou muitas vezes avermelhado, despertando a curiosidade nestes sobre o assunto que será tratado com mais detalhes na próxima aula usando o AVA.

3.1.4 AVA: Espectro da radiação

Nessa aula, é introduzido aos estudantes o conceito de como é a radiação emitida por um corpo negro, associando a nossa estrela a esse tipo de corpo, além de explicar porque percebemos essa radiação diferente da originalmente emitida pelo Sol, devido as interações sofridas por essa radiação no seu caminho antes de chegar aos nossos olhos. Para isso, os estudantes assistem inicialmente ao vídeo *Espectro da radiação do corpo negro*¹⁵, o qual introduz o conceito de como é este espectro de radiação e como esse varia com a temperatura do corpo negro.

¹² <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-da-radiacao/aiai-desenvolvimento>

¹³ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-da-radiacao/aiai-praticar>

¹⁴ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-da-radiacao/aiai-refletir>

¹⁵ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/espectro-da-radiacao/aiv-introducao>

Após isso, os estudantes acessam no site do PhET¹⁶ um simulador sobre radiação do corpo negro, utilizando um roteiro¹⁷ que tem como objetivo conduzi-los a entender a dependência da intensidade da radiação emitida por esse corpo com sua temperatura, além de explorar como a intensidade dessa radiação varia para cada comprimento de onda emitido pelo corpo negro.

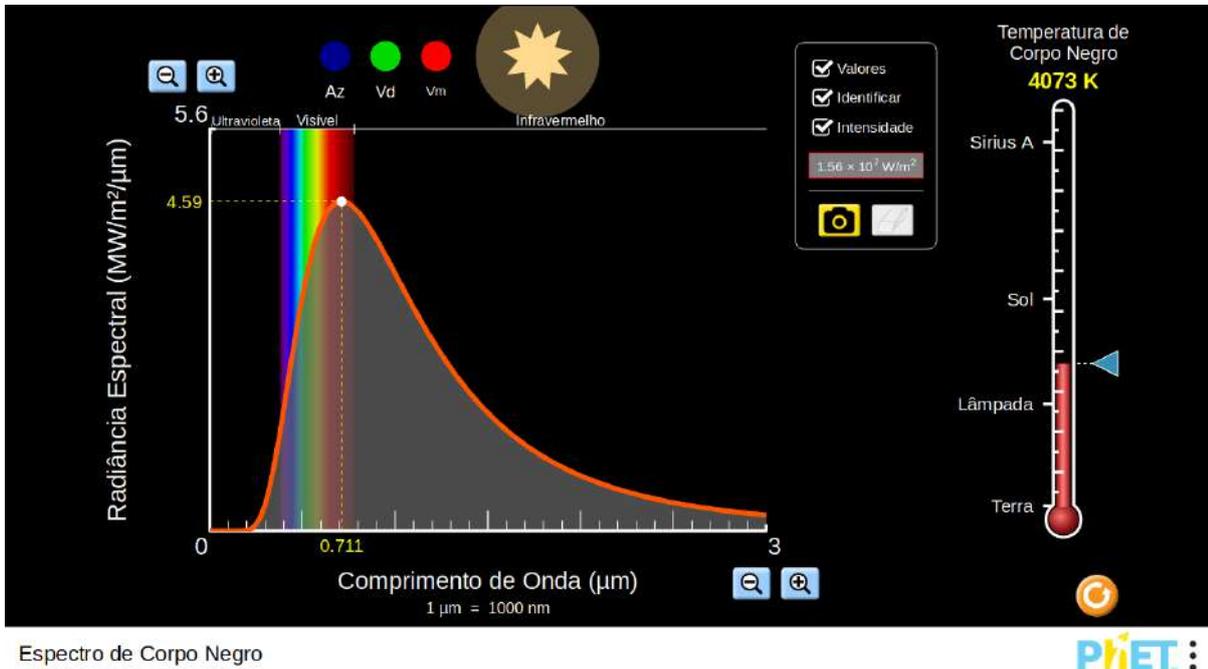


Figura 28 – Espectro da radiação do corpo negro

Fonte: PhET, disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/

Os estudantes seguem então com um material de leitura¹⁸ que tem como objetivo explicar como ocorre a atenuação da intensidade da radiação em seu percurso do Sol até a superfície terrestre.

São explicadas também as interações da radiação solar com a atmosfera da Terra, o que faz com que a radiação de cerca de $1360\text{W}/\text{m}^2$ que incide no topo da atmosfera do nosso planeta seja atenuada para cerca de $1000\text{W}/\text{m}^2$ até chegar na sua superfície. Assuntos como o que é radiação direta e difusa, a relação entre o ângulo de incidência da radiação na atmosfera e sua intensidade na superfície do planeta, além de como isso influencia na cor do céu e do Sol que visualizamos aqui da Terra, também são abordados nessa parte da aula.

Para finalizar essa aula, os estudantes respondem algumas questões para praticar¹⁹ o que foi visto aqui.

¹⁶ https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_pt_BR.html

¹⁷ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/espectro-da-radiacao/aiv-simular>

¹⁸ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/espectro-da-radiacao/aiv-desenvolvimento>

¹⁹ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/espectro-da-radiacao/aiv-praticar>

3.1.5 AVA: Energia fotovoltaica e heliotérmica

No material dessa aula, os estudantes acessam um conteúdo que explica como ocorre a captação e utilização da energia solar aqui na Terra. São abordados os conceitos básicos do que são células e módulos fotovoltaicos, como esses elementos geram eletricidade e qual a finalidade da associação em série e paralelo desses elementos. O material explora também alguns marcos históricos sobre como vem sendo utilizada a energia solar pelo ser humano através de processos térmicos até os dias de hoje.

Inicialmente, os estudantes assistem ao vídeo *Painel Solar Fotovoltaico*²⁰, o qual introduz a ideia do que é o efeito fotovoltaico, como é feita a associação em série de células solares, qual a eficiência dessas células e qual a viabilidade da utilização dessa fonte energética.

Após essa introdução, os estudantes seguem a aula respondendo algumas questões²¹ que abordam o que foi visto no vídeo, além de conduzi-los à explorar com mais detalhes os conceitos fundamentais de como, e para que, são realizadas as associações de células e módulos fotovoltaicos.

É explicado que cada célula de silício gera uma tensão de cerca de $0,5V$ e que, a associação em série (Figura 29) de células ou módulos fotovoltaicos iguais, faz com que o sistema passe a gerar uma tensão total (U_T) igual a soma das tensões individuais (U_n) de cada um desses elementos (Equação 3.3), porém, mantendo o mesmo valor de corrente elétrica individual (i) de cada uma dessas células ou módulos fotovoltaicos.

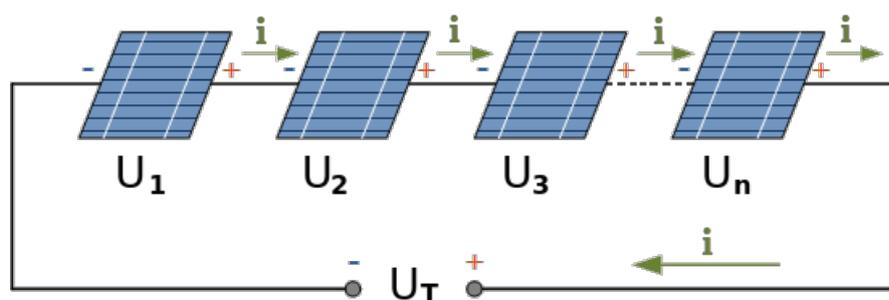


Figura 29 – Associação em série de células fotovoltaicas

Fonte: Elaborado pelo autor

$$U_T = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (3.3)$$

É abordada também a associação em paralelo (Figura 30) de células ou módulos fotovoltaicos iguais, a qual faz com que o sistema passe a gerar uma corrente elétrica total

²⁰ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-fotovoltaica-e-heliotermica/av-introducao>

²¹ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-fotovoltaica-e-heliotermica/av-praticar>

(i_T) igual a soma das correntes individuais (i_n) de cada um desses elementos (Equação 3.4), porém, mantendo o mesmo valor de tensão elétrica individual (U) de cada uma dessas células ou módulos fotovoltaicos.

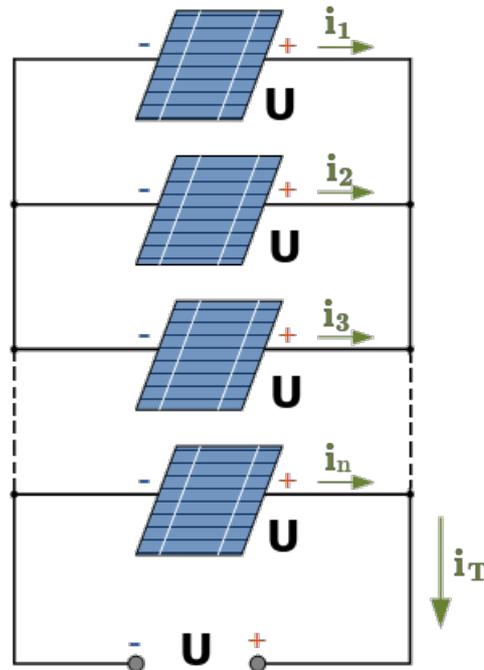


Figura 30 – Associação em paralelo de células fotovoltaicas

Fonte: Elaborado pelo autor

$$i_T = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n \quad (3.4)$$

Seguindo a aula, alguns marcos históricos²² da utilização da energia solar (heliotérmica) são explorados para que os estudantes obtenham uma visão mais ampla sobre a utilização dessa energia.

Por fim, os estudantes seguem respondendo uma questão que os façam refletir²³ sobre a importância dos semicondutores para os tempos atuais, visando com isso despertar a curiosidade nestes estudantes sobre o assunto que será tratado com mais detalhes na próxima aula usando o AVA, quando a célula fotovoltaica for analisada em escala atômica.

3.1.6 AVA: Células e módulos fotovoltaicos

Após os estudantes terem tido o primeiro contato com o que são células e módulos fotovoltaico, é chegada a hora deles entenderem com mais detalhes como são essas células e como ocorre o efeito fotovoltaico. Para isso, os estudantes iniciam esta aula assistindo ao

²² <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-fotovoltaica-e-heliotermica/av-historia>

²³ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-fotovoltaica-e-heliotermica/av-refletir>

vídeo *Junção p-n em uma célula fotovoltaica* e ao vídeo *Dopagem do Silício com Fósforo e Boro*²⁴.

No primeiro vídeo, é explicado como são as duas camadas de material semicondutor que formam as células fotovoltaicas, mostrando que essas células podem ter uma dessas camadas constituída de silício dopada com fósforo (camada tipo-N) e a outra de silício dopada com boro (camada tipo-P). É explicado no vídeo que quando essas camadas estão unidas, forma-se nessa união a chamada junção P-N, a qual gera uma região de depleção que possui um campo elétrico que faz com que os pares de elétrons livres e buracos gerados, a partir da incidência da radiação solar, sofram ação de uma força que os direcionem para a camada tipo N e a camada tipo P respectivamente.

Já no segundo vídeo, os estudantes visualizam com mais detalhes esses processos de dopagem do silício com fósforo e boro, os quais possibilitam uma melhora na condutividade elétrica do silício, visto que, em condições ambientes o silício puro não é um bom condutor de eletricidade. O vídeo explica também que existe outra forma de fazer com que o sílico puro se comporte como um bom condutor de eletricidade, estando essa relacionada ao fornecimento de energia para o material, fazendo com que elétrons subam da banda de valência para a banda de condução do material.

Após os estudantes serem iniciados na aula com os dois vídeos anteriores, eles prosseguem com um material de leitura²⁵ que explica como poderia ser uma das formas do silício receber essa energia para melhorar sua condutividade elétrica. Nessa parte, o material explica como cada um dos materiais tem sua condutividade elétrica alterada em função de sua temperatura.

O material de leitura segue apresentando um modelo que explora o que há de diferente entre os condutores, isolantes e semicondutores, sob uma perspectiva em escala atômica. Nesse modelo (Figura 31), os átomos dos materiais são representados como círculos grandes azuis, alguns dos elétrons fortemente ligados aos núcleos atômicos como círculos pequenos vermelhos dentro dos círculos grandes azuis, os elétrons livres como círculos pequenos vermelhos fora dos círculos grandes azuis e os buracos como círculos brancos. A ideia é fazer com que os estudantes entendam que os metais possuem diversos elétrons livres, ou, fracamente ligados aos núcleos dos átomos, caracterizando-os como bons condutores, enquanto que, os isolantes não apresentam esses elétrons livres e os materiais semicondutores puros (intrínsecos) são caracterizados por apresentarem poucos elétrons livres, os quais para existirem no material deixam buracos na última camada eletrônica dos átomos.

²⁴ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/celulas-e-modulos-fotovoltaicos/avi-introducao>

²⁵ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/celulas-e-modulos-fotovoltaicos/avi-desenvolvimento>

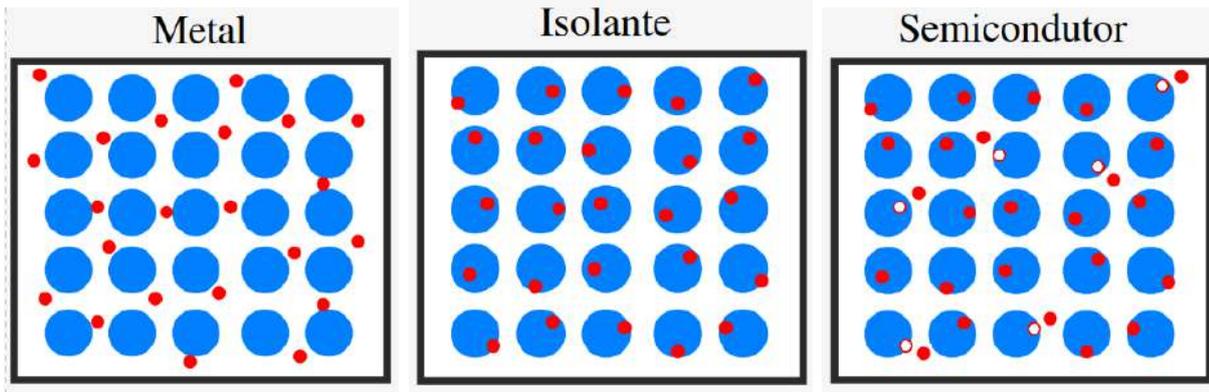


Figura 31 – Representação atômica de metais, isolantes e semicondutores

Fonte: Elaborado pelo autor

Dando sequência, são apresentados para os estudantes os conceitos básicos do modelo de bandas de energia, explicando a relação entre a localização dos elétrons nessas bandas e a condução de eletricidade para cada um dos três materiais. É explicado que a banda de valência possui elétrons que para ganharem liberdade precisarão primeiramente deixar essa banda para subirem para outra mais energética, chamada de banda de condução, tornando-se assim elétrons livres, mas que, dependendo da largura do gap entre as bandas, isso pode não acontecer facilmente.

Após os estudantes entenderem esses conceitos básicos sobre bandas de energia, chega-se ao objetivo principal dessa parte da aula, apresentando para os estudantes como esses materiais semicondutores poderiam receber energia para que elétrons da banda de valência subam para a banda de condução, sem que haja aquecimento do material, ou seja, através do efeito fotovoltaico.

É explicado para os estudantes que quando um fóton incide em uma célula fotovoltaica, podem ocorrer três cenários diferentes (Figura 32):

1) Energia do fóton igual a energia do gap ($E_{ph} = E_G$): Essa é a condição ideal, onde, o elétron subirá da banda de valência para a banda de condução sem que ocorra sobra de energia.

2) Energia do fóton menor que a energia do gap ($E_{ph} < E_G$): Nessa condição, o elétron não irá absorver a energia do fóton, pois ela é insuficiente para fazê-lo subir para a banda de condução.

3) Energia do fóton maior que a energia do gap ($E_{ph} > E_G$): Nessa condição, o elétron subirá da banda de valência para a banda de condução, porém haverá uma sobra de energia indesejável, a qual será transformada em calor na célula fotovoltaica.

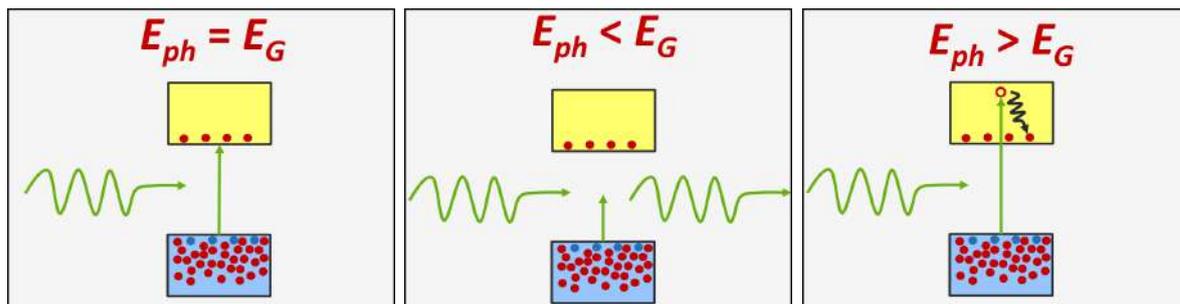


Figura 32 – Interações possíveis do fóton com o material semiconductor

Fonte: Plataforma edX, Curso: Solar Energy, acessado em 27/9/2019 em: <https://www.edx.org/>

O material explora um pouco mais esse assunto, e segue depois com algumas questões²⁶ para os estudantes praticarem o que foi ensinado nesta parte da aula.

Finalizando a última aula do AVA referente a esse trabalho, é apresentado para os estudantes o vídeo *Como Se Faz - Módulo Fotovoltaico*²⁷, o qual mostra como ocorrem os processos de fabricação de módulos fotovoltaicos.

3.2 Demonstrações e experimentos

A seguir, o(a) professor(a) terá acesso a explicações para a realização dos experimentos e demonstrações do produto desse trabalho.

Nas listas de material para realização dos experimentos, foram especificados apenas o material necessário para realização do experimento por um grupo de estudantes de cada vez. Logo, caso haja interesse na realização simultânea de experimentos por mais grupos, o(a) professor(a) precisará multiplicar as listas de material especificadas pela quantidade de grupos de estudantes que o farão simultaneamente.

3.2.1 Demonstração da redução de massa na fusão nuclear

O material elaborado para essa demonstração tem como objetivo fazer com que os estudantes entendam a redução de massa que ocorre em cada processo de fusão nuclear que acontece no Sol. Para isso, o(a) professor(a) utilizará modelos de núcleos atômicos feitos com bolinhas de isopor com suas massas calibradas (Ver figura 33), a serem construídos conforme o procedimento descrito na seção 4.2.1.

²⁶ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/celulas-e-modulos-fotovoltaicos/avi-praticar>

²⁷ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/celulas-e-modulos-fotovoltaicos/avi-tecnologia>

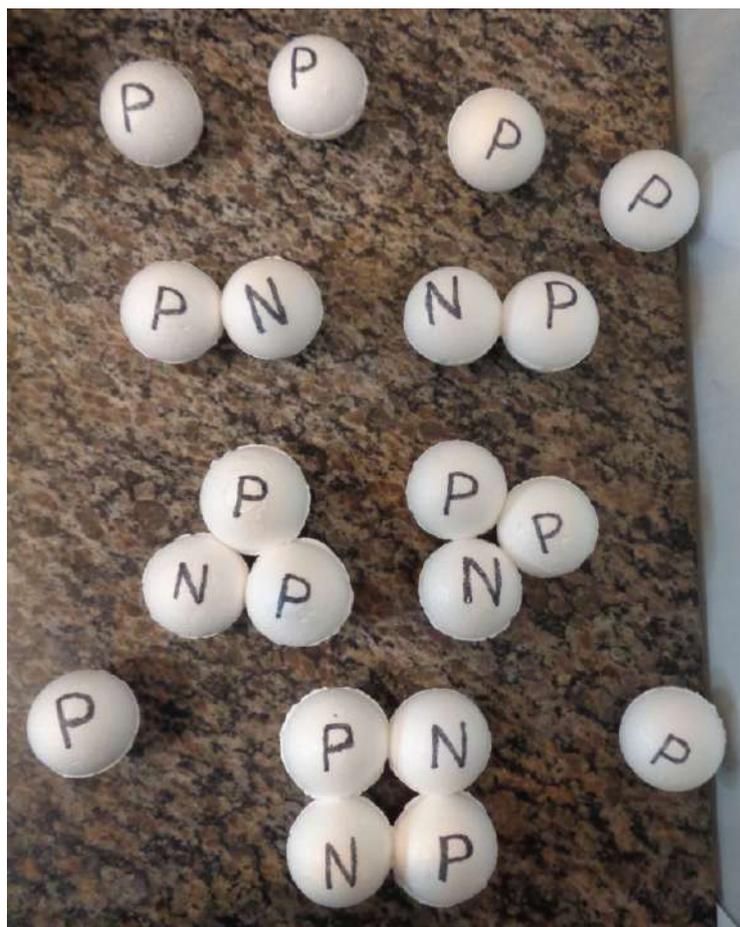


Figura 33 – Conjunto com os modelos finalizados

Fonte: Elaborado pelo autor

O(A) professor(a) precisará também de uma balança para comparação das massas dos modelos dos núcleos antes e depois de cada reação.

Como a necessidade da balança é apenas para comparar as massas dos modelos de núcleos atômicos antes e depois de cada reação de fusão nuclear, verificando quais são as mais pesadas, não se deve verificar a massa de cada modelo em uma balança individual, pois isso não faria sentido e poderia desviar a atenção dos estudantes dos objetivos da demonstração. Logo, o(a) professor(a) poderá construir uma balança simples, praticamente sem custo e que atende totalmente as necessidades dessa demonstração, utilizando para isso uma régua com alguns furos equidistantes uns dos outros, alguns pedaços de arame de mesmo comprimento e diâmetro, além de duas saquinho plásticas iguais (Figura 34).



Figura 34 – Balança feita com uma régua, pedaços de arame e sacolas plásticas

Fonte: Elaborado pelo autor

A demonstração das fusões nucleares consiste em comparar etapa a etapa as massas dos modelos dos núcleos antes e depois de cada reação.

Para iniciar a atividade, é recomendável o(a) professor(a) fazer uma discussão com os estudantes que explore e nivele os conhecimentos básicos sobre as partículas (*prótons* e *nêutrons*) existentes em núcleos atômico, além de apresentar para esses estudantes as três reações de fusão nuclear que ocorrem no Sol e os quatro núcleos que participam dessas reações (*Hidrogênio*, *Deutério*, *Hélio 3* e *Hélio 4*).

Para comparar essas massas, cada um dos modelos envolvido na reação que esta sendo demonstrada precisará ser colocado lado a lado na balança. Para isso, os modelos dos núcleos antes de cada reação demonstrada devem ser colocados em um dos lados da balança e os modelos dos núcleos depois da respectiva reação demonstrada colocados no outro lado da balança. É sugerido que o(a) professor(a) chame alguns estudantes para auxiliarem na realização dessa demonstração, assumindo esse(a) professor(a) a tarefa de conduzir a demonstração, fazendo comentários e questionamentos pertinentes a cada etapa, a fim de fazer com que a turma perceba que nas reações da cadeia próton-próton sempre ocorre redução de massa.

Depois das demonstrações de todas as etapas da cadeia próton-próton, a fim de desencadear o assunto a ser tratado na próxima aula usando o AVA, o(a) professor(a) conduz uma discussão introdutória sobre a relação entre a massa perdida e a energia liberada nas reações, apresentando ao final para a turma a equação $E = m.c^2$.

Ao final da demonstração, é solicitado aos estudantes que entreguem um relatório descritivo dos assuntos abordados na aula.

3.2.2 Experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul

Nesse experimento, os estudantes irão determinar os comprimentos de onda de três cores de luz (vermelha, verde e azul). Para isso, o experimento foi elaborado utilizando apenas materiais (Figura 35) comuns aos materiais utilizados no experimento para medição da constante de Planck, elaborado por Fish e Pope (2008) (Ver seção 2.2). Logo, o(a) professor(a) que possui, ou adquire, os materiais necessários para um desses experimentos, poderá também aproveitá-los para realização do outro.

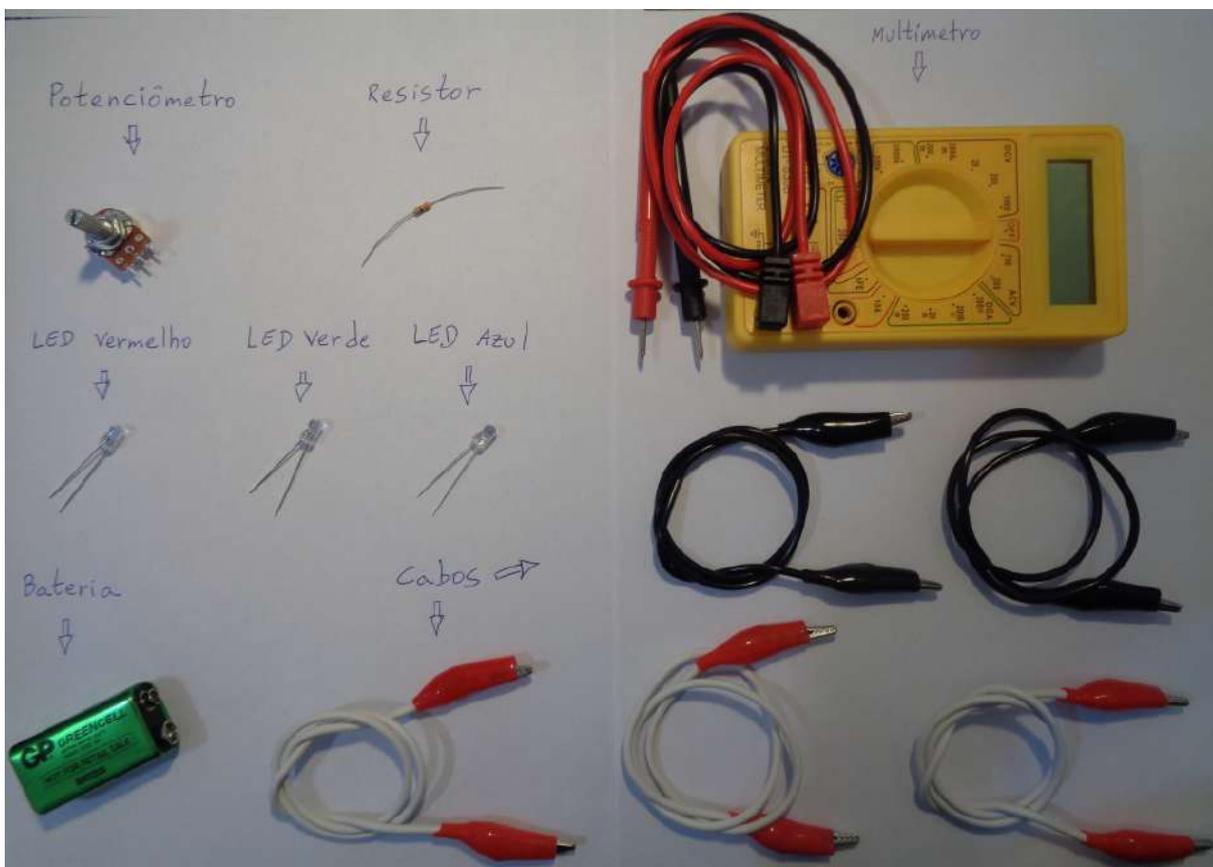


Figura 35 – Material do experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul

Veja a seguir a especificação do material necessário para a realização do experimento:

- Três (03) LEDs de alto brilho, com diâmetro 5mm , sendo um vermelho, um verde e um azul;
- Uma (01) bateria de 9V ;
- Um (01) resistor de 330Ω ;
- Um (01) potenciômetro de $1\text{k}\Omega$;
- Três (03) cabos $\#1,5\text{mm}^2$ com comprimentos de cerca de 50cm e garras de jacaré vermelhas nas duas extremidades de cada um;
- Dois (02) cabos $\#1,5\text{mm}^2$ com comprimentos de cerca de 50cm e garras de jacaré pretas nas duas extremidades de cada um;
- Um (01) voltímetro ou multímetro.

Os estudantes iniciam a atividade montando o circuito do experimento com um dos LED conforme mostrado na figura 36, em que o potenciômetro deve estar nesse primeiro momento ajustado para que o LED não acenda ainda.

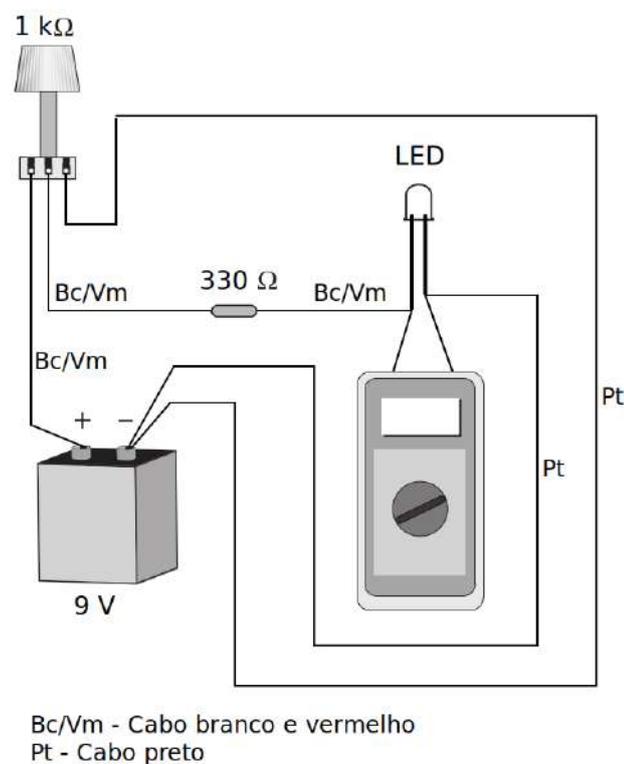


Figura 36 – Circuito do experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul

Após isso, os estudantes devem ajustar o potenciômetro para que o LED montado fique com um brilho médio, quando comparado com o máximo brilho possível no circuito do experimento. Feito isso, os estudantes devem anotar o valor da tensão lida no voltímetro e então, repetir 5 vezes essa etapa do procedimento de ajuste do potenciômetro seguido da leitura e nota da tensão lida no voltímetro. Posteriormente, os estudantes deverão calcular a tensão elétrica média das 5 medições feitas para a cor do LED montada no circuito (Equação 3.5). É sugerido então que os estudantes sejam organizados em grupos para a atividade, além de serem incentivados pelo(a) professor(a) para que todos os integrantes do grupo participem realizando pelo menos uma das cinco repetições experimentais descritas nessa etapa, evitando assim que todos os valores de tensão que serão utilizados no cálculo da média, sejam obtidos por apenas um dos estudantes.

$$\bar{U} = \frac{U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5}{5} \quad (3.5)$$

Nos próximos passos do experimento, os estudantes devem substituir o LED do circuito pelos outros de outras cores, e então, repetir para cada cor o passo anterior, a fim de obterem as 5 medições a serem utilizadas no cálculo da tensão média para cada cor.

Finalizada a parte prática do experimento, os estudantes em seus grupos poderão calcular a tensão média lida no voltímetro para cada uma das três cores do experimento.

Feito isso, os estudantes precisarão obter na unidade de medida *Joule*, a energia (E) dos fótons de luz para cada cor de LED do experimento. Para isso, relacionando a tensão elétrica média calculada com a energia de cada fóton em *elétron-volt* ($1V \equiv 1eV$), pode-se fazer a conversão de unidades de medida de eV para J utilizando a igualdade mostrada na relação 3.2.

Após saber a energia desses fótons de luz em *Joule*, os estudantes poderão utilizar a equação que relaciona o comprimento de onda da luz (λ) com a constante de Planck (h), a velocidade da luz no vácuo (c) e a energia do fóton (Equação 3.6), para finalmente descobrirem o comprimento de onda da cor da luz emitida pelo LED do experimento.

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} \quad (3.6)$$

Espera-se que os estudantes encontrem resultados dentro das seguintes faixas:

Tabela 2 – Relação entre as cores vermelha, verde e azul e os seus comprimentos de onda

Cor	λ (nm)
Vermelho	625 – 740
Verde	500 – 565
Azul	440 – 485

Fonte:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4414791/mod_resource/content/4/2018_AUP2324_aula1-estimulo-visual-cor-luz.pdf

Ao término do experimento e dos cálculos, cada grupo de estudantes deve preencher um relatório²⁸, descrevendo com detalhes o experimento realizado, os dados experimentais obtidos durante a atividade, os resultados dos cálculos realizados e uma conclusão contendo uma análise e reflexão dos resultados finais obtidos.

3.2.3 Demonstrações e experimentos sobre a captação da energia da luz

Essas demonstrações e experimentos foram elaborados para realização após a aula sobre energia fotovoltaica (Ver seção 3.1.5), possibilitando que esses estudantes tenham contato físico com células e módulos fotovoltaicos e vejam esses equipamentos sendo utilizados para transformar luz em eletricidade, além de realizarem atividades práticas de associações de módulos fotovoltaicos.

Veja a seguir a especificação do material utilizado para a realização das demonstrações e experimentos (Figura 37):

1. Dois (02) módulos fotovoltaicos de $6V$ - $3,5W$ - $500mA$ de tamanho $25 \times 14 \times 2$ cm com cabo e adaptador com multi-conectores machos nas extremidades, incluindo P4 e conectores de carga de celular;
2. Dois (02) espelhos com dimensões úteis de cerca de 20×13 cm;
3. Dois (02) soquete para lâmpada de rosca com cabo e plug de tomada na extremidade;
4. Duas (02) lâmpadas halógenas de $70W$ ou incandescentes de $100W$;
5. Um (01) relógio tipo despertador;
6. Um (01) resistor de 30Ω - $3,0W$;
7. Um (01) mini motor elétrico retirado de algum brinquedo velho;
8. Três (03) LEDs difusos com diâmetro $5mm$, sendo um vermelho, um verde e um amarelo;

²⁸ <https://forms.gle/67dmQubZBv6jDTZA8>

9. Dois (02) conectores P4 fêmea com um fio vermelho e outro preto soldados respectivamente no terminal positivo e negativo de cada conector P4 e algum tipo de terminal nas outras extremidades dos fios para facilitar a fixação das garras de jacaré durante a realização do experimento;
10. Uma (01) ventoinha (cooler) de CPU.;
11. Uma (01) calculadora com um fio vermelho e outro preto soldados respectivamente nos terminais positivo e negativo do alojamento da pilha e algum tipo de terminal ou garras de jacaré das mesmas cores nas outras extremidades dos fios;
12. Dois (02) cabos de #1, $5mm^2$ com comprimentos de cerca de $50cm$ e garras de jacaré pretas nas duas extremidades de cada um;
13. Três (03) cabos de #1, $5mm^2$ com comprimentos de cerca de $50cm$ e garras de jacaré vermelhas nas duas extremidades de cada um;
14. Um (01) multímetro;
15. Uma (01) caixa de sapato.

Nota: Dependendo dos equipamentos eletroeletrônicos que o(a) professor(a) já possuir para trabalhar, os materiais da lista anterior destinados unicamente para as demonstrações (relógio, motor, LEDs, ventoinha e calculadora), podem sofrer modificações.

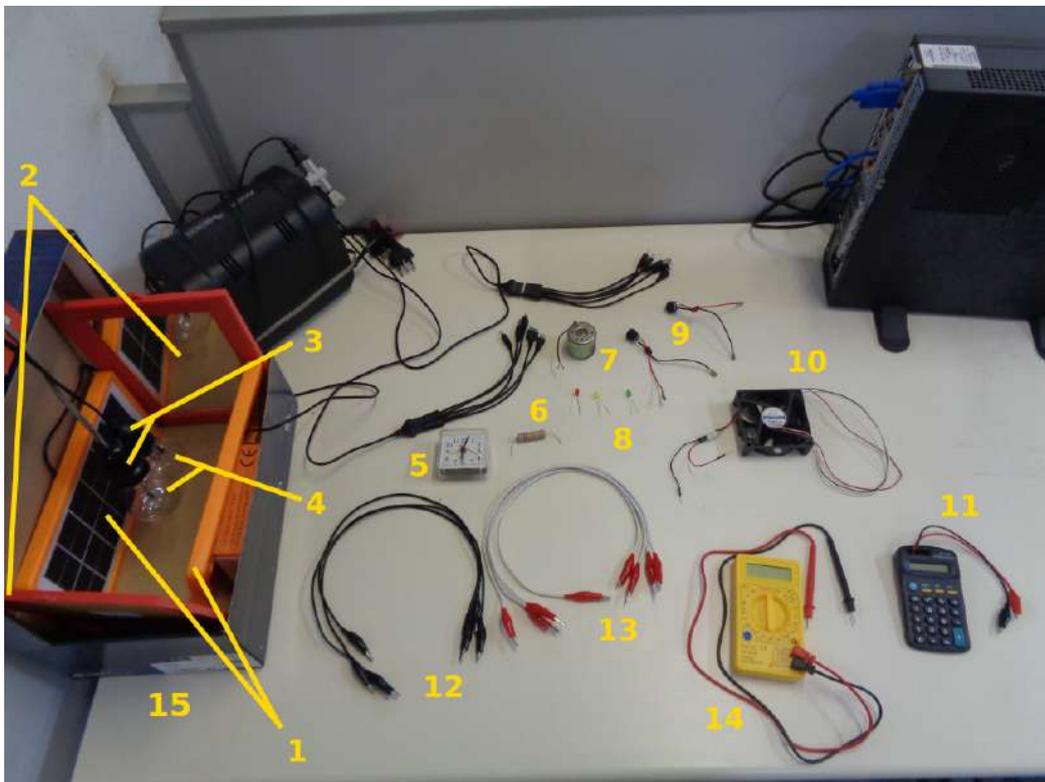


Figura 37 – Lista de material para demonstrações e experimentos sobre a captação da energia da luz

Fonte: Elaborado pelo autor

Antes de iniciar as demonstrações e experimentos é recomendado que o(a) professor(a) organize os materiais que irá utilizar a fim de facilitar a realização das atividades. Caso o(a) professor(a) esteja trabalhando em uma escola com um local adequado que receba luz solar no momento da aula, as atividades podem então ser realizadas lá dispensando os espelhos, lâmpadas, soquetes e a caixa de sapato da lista de material. Porém, caso não haja a possibilidade desse local, como por exemplo em dias nublados ou no ensino de turmas do noturno, esses itens especificados se mostram bastante úteis.

A atividade tem início demonstrando para os estudantes dispositivos eletroeletrônicos sendo alimentados pelos módulos fotovoltaicos. Para isso, primeiramente um dos módulos é utilizado para carregar um celular, depois para acender os LEDs, alimentar a calculadora, o relógio, o motor e por fim, os dois módulos são associados em paralelo para alimentar a ventoinha (Figuras 38 à 43).

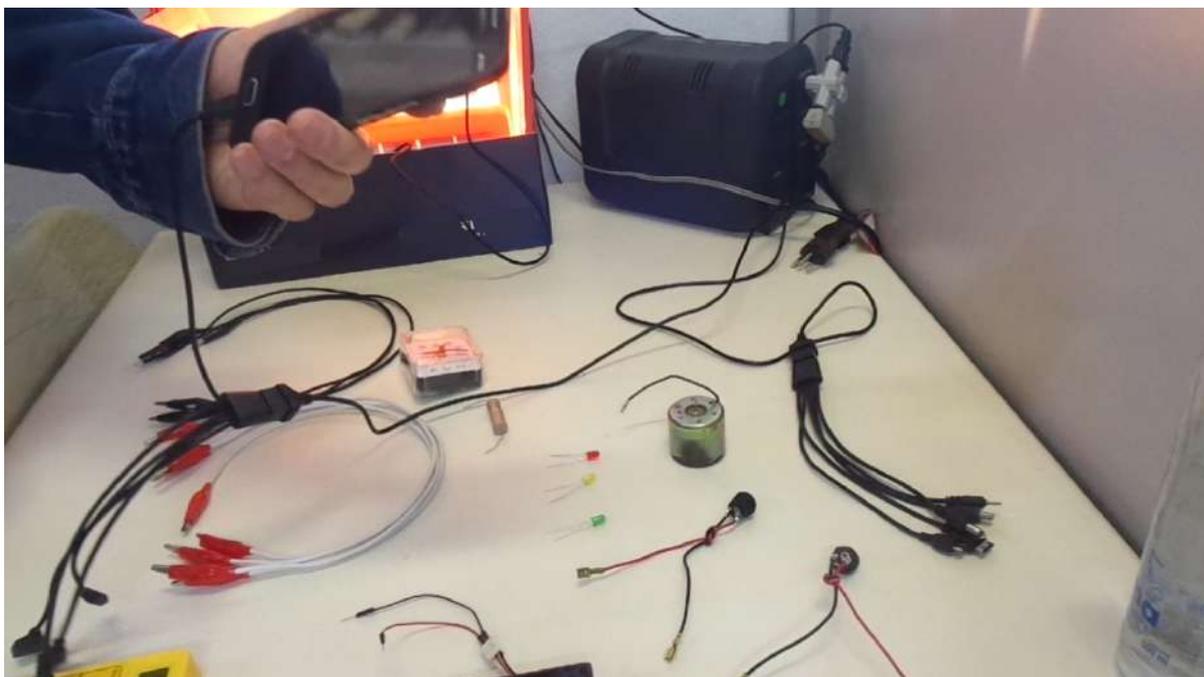


Figura 38 – Celular sendo carregado por módulo fotovoltaico

Fonte: Elaborado pelo autor

A fim de evitar a sobrecarga de energia nos LEDs, na calculadora ou no relógio quando ligados à um módulo fotovoltaico, é necessário que parte da área útil de captação de luz desse módulo seja bloqueada, ou até mesmo as lâmpadas sejam desligadas, pois esses equipamentos requerem uma demanda muito pequena de energia. Uma outra alternativa, seria o uso de resistores ligados em série no circuito de alimentação desses equipamentos. Porém, o bloqueio de parte da área receptora de luz do módulo fotovoltaico ou a simples ação de desligar a(s) lâmpada(s) mostram-se mais práticos e fácil de serem realizados.



Figura 39 – LEDs sendo alimentados por módulo fotovoltaico

Fonte: Elaborado pelo autor

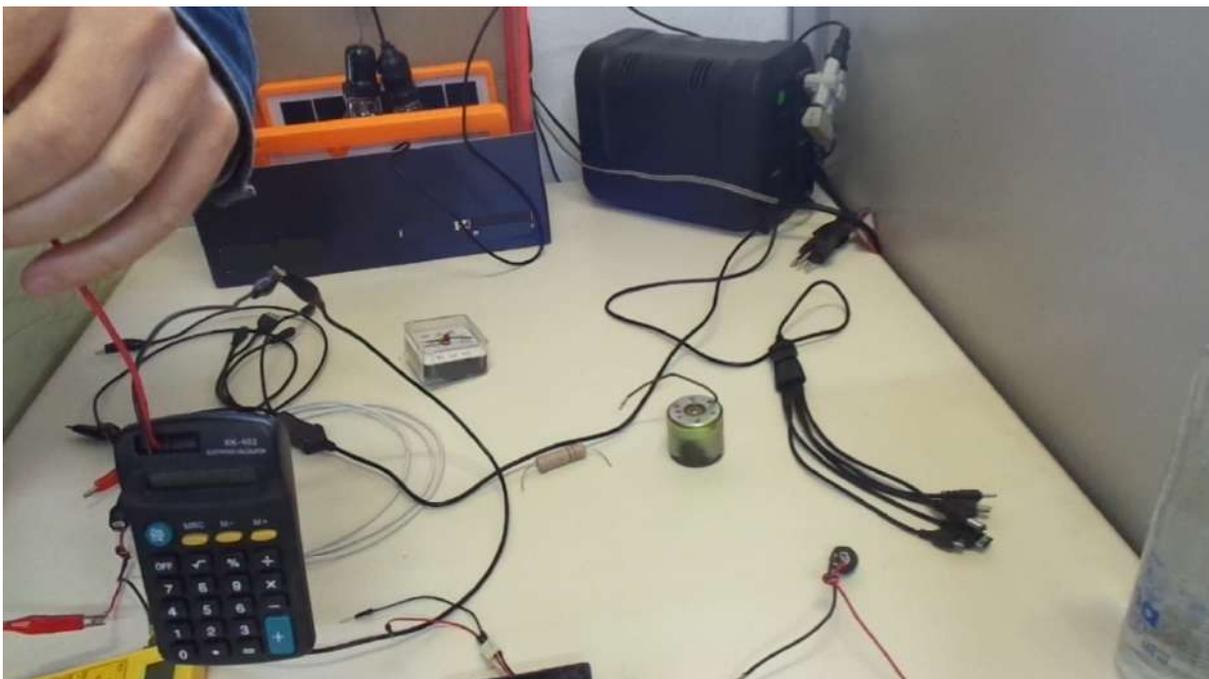


Figura 40 – Calculadora sendo alimentada por módulo fotovoltaico

Fonte: Elaborado pelo autor

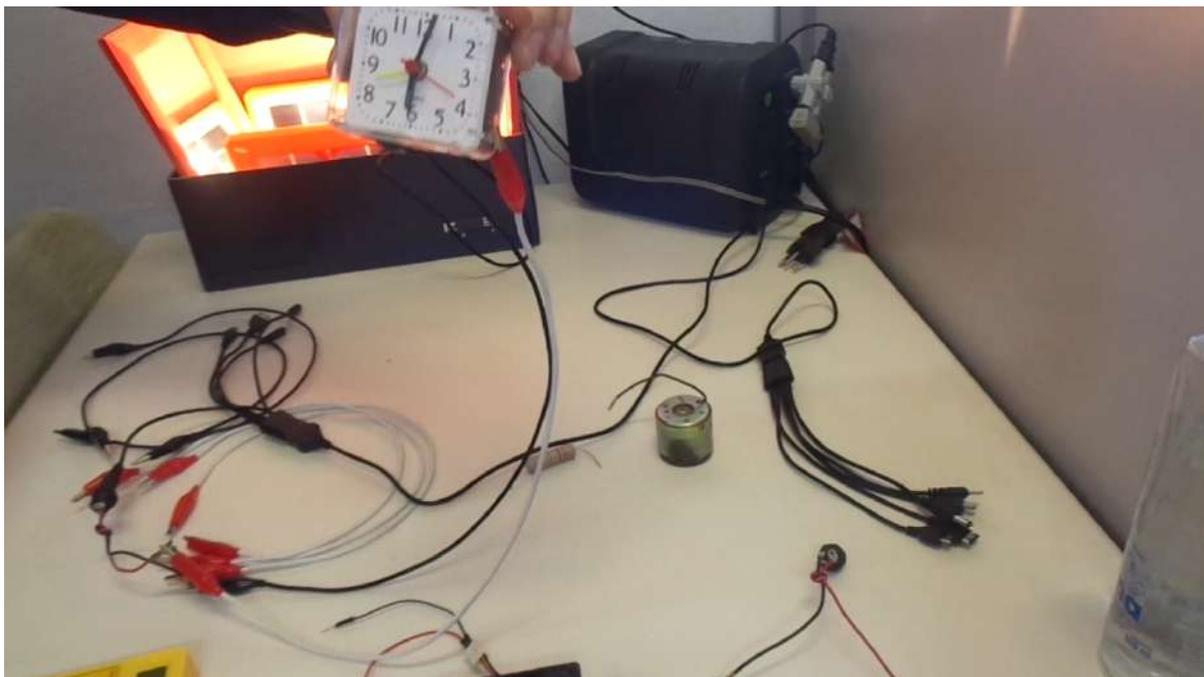


Figura 41 – Relógio sendo alimentado por módulo fotovoltaico

Fonte: Elaborado pelo autor

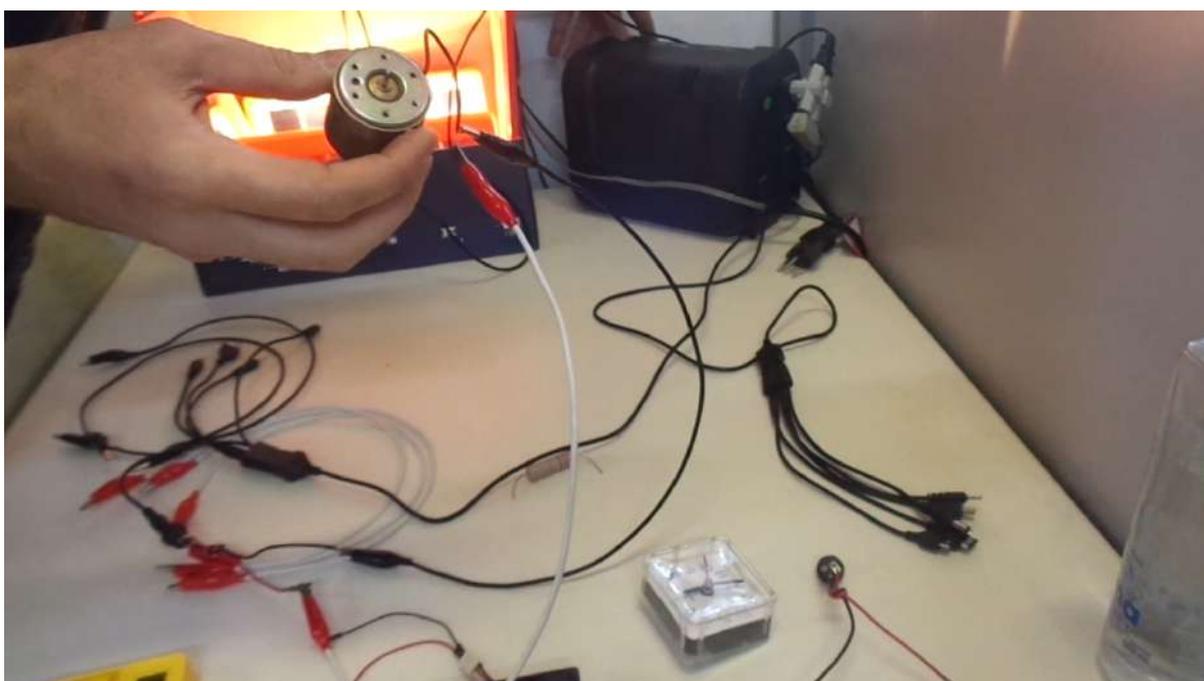


Figura 42 – Motor sendo alimentado por módulo fotovoltaico

Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 43 – Ventoinha sendo alimentada por módulos fotovoltaicos

Fonte: Elaborado pelo autor

Após as demonstrações iniciais, chega a parte experimental em que os estudantes devem se organizar em grupos e seguir o roteiro da atividade, montando circuitos e realizando medições de tensão e corrente elétricas geradas pelos módulos fotovoltaicos expostos a luz, conforme descrito a seguir:

Primeiro os estudantes devem ligar um módulo fotovoltaico em um voltímetro conforme o esquema da figura 44, e então, medir a tensão elétrica em circuito sem carga gerada pelo módulo fotovoltaico. Depois, o módulo fotovoltaico deve ser substituído pelo outro e a medição refeita.

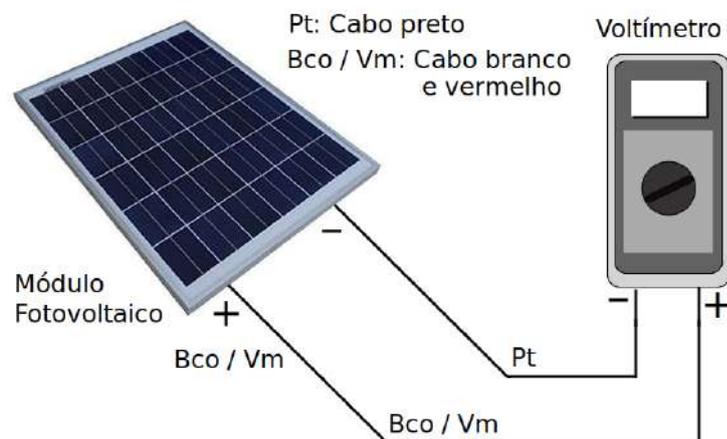


Figura 44 – Circuito para medição da tensão elétrica gerada por um módulo fotovoltaico

Fonte: Elaborado pelo autor

Feito isso e considerando o material utilizado, ou seja, os módulos fotovoltaicos, lâmpadas e espelhos especificados, além do arranjo de montagem mostrado nas fotos, os estudantes devem obter uma tensão elétrica entre 6,7V e 7,0V para ambos os módulos utilizados (Figuras 45 e 46).

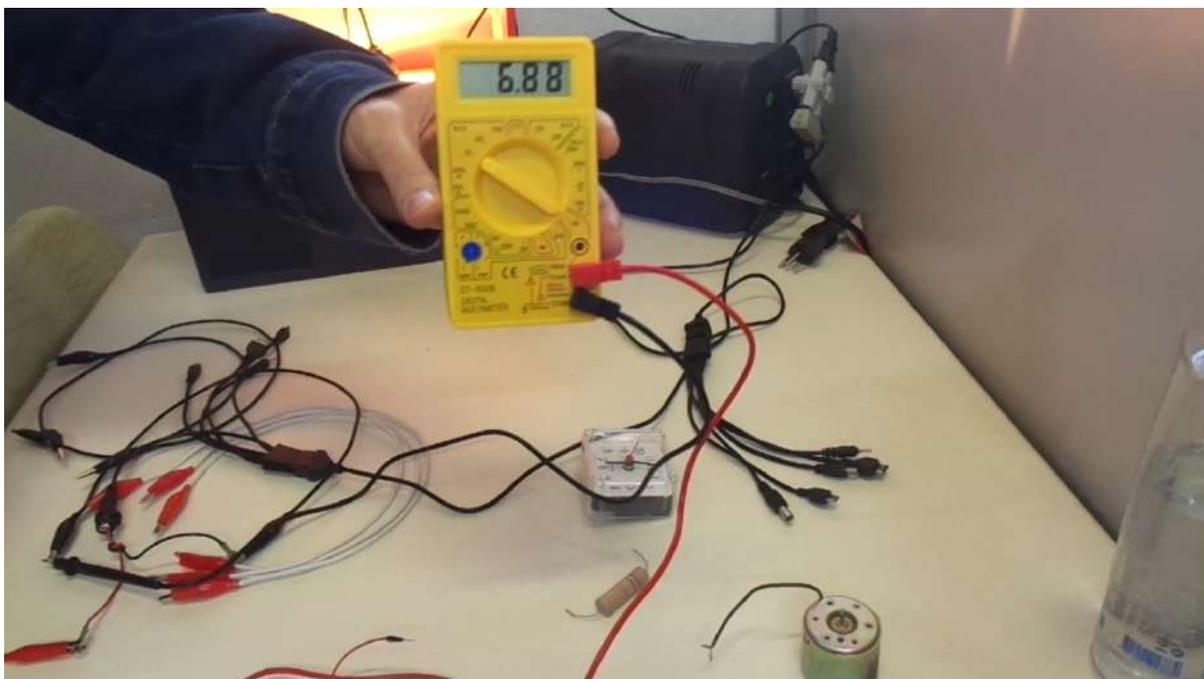


Figura 45 – Tensão elétrica em circuito sem carga gerada por um dos módulos fotovoltaicos

Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 46 – Tensão elétrica em circuito sem carga gerada pelo outro módulo fotovoltaico

Fonte: Elaborado pelo autor

Após isso, ainda em circuito sem carga, os estudantes devem ligar a um voltímetro os dois módulos fotovoltaicos associados em série conforme o esquema da figura 47, para então, medir a tensão elétrica gerada por essa associação feita com os dois módulos fotovoltaicos.

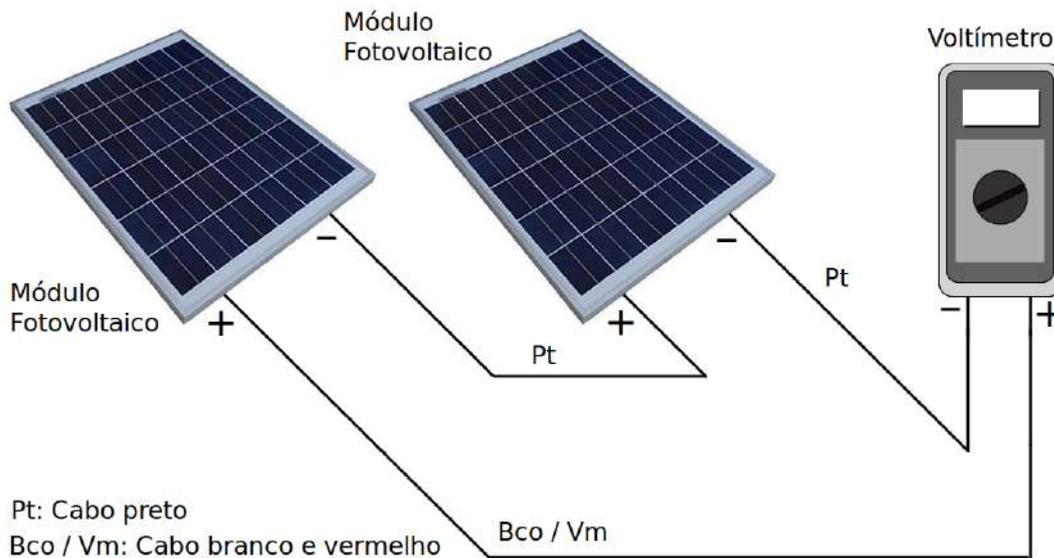


Figura 47 – Circuito para medição da tensão elétrica em circuito sem carga gerada pelos dois módulos fotovoltaicos associados em série

Fonte: Elaborado pelo autor

Feito isso, os estudantes devem obter uma tensão elétrica entre 13,5V e 14,0V para a associação em série dos módulos fotovoltaicos (Figura 48).

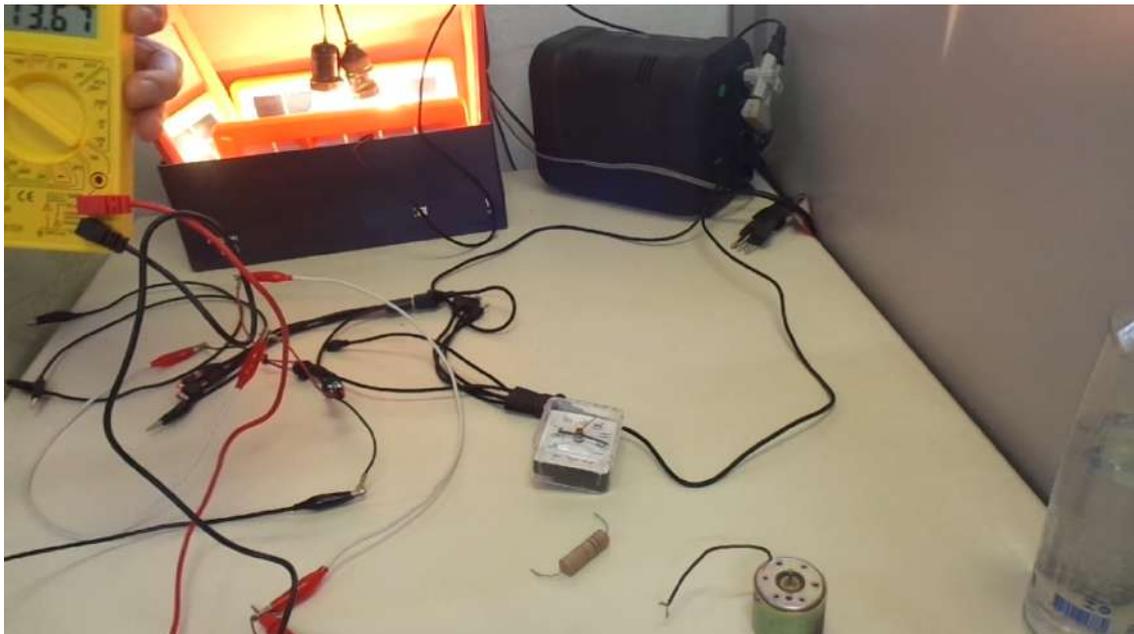


Figura 48 – Tensão elétrica em circuito aberto gerada pelos dois módulos fotovoltaicos associados em série

Fonte: Elaborado pelo autor

Nesse momento, o(a) professor(a) deve falar para os estudantes refletirem sobre os três valores de tensão elétrica medidos no experimento, e responderem sobre a finalidade de se realizar esse tipo de associação com os módulos fotovoltaicos. É esperado que os estudantes respondam que o objetivo dessa associação é o de obter tensões elétricas maiores que as geradas por apenas um módulo. Os estudantes mais atenciosos podem também responder que a tensão elétrica da associação é igual a soma das tensões elétricas geradas por cada módulo, desconsiderando as pequenas diferenças encontradas na prática.

Após as medições realizadas de tensão elétrica, os estudantes seguem medindo as correntes elétricas produzidas pelos módulos fotovoltaicos nos arranjos montados em um circuito com um resistor de 30Ω , conforme segue:

Iniciando essa segunda parte experimental, os estudantes devem ligar um dos módulos fotovoltaicos ao resistor, com o amperímetro ligado em série neste conforme o esquema mostrado na figura 49, e então, medir a corrente elétrica que passa pelo resistor. Depois, o módulo fotovoltaico deve ser substituído pelo outro e a medição refeita.

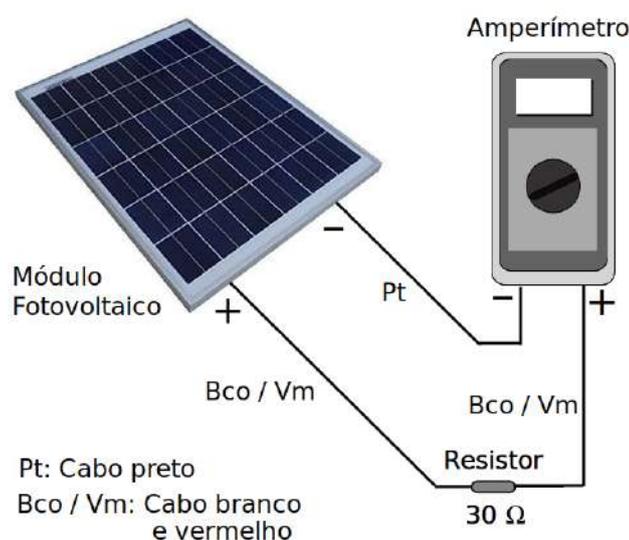


Figura 49 – Circuito para medição da corrente elétrica produzida pelo módulo fotovoltaico ligado ao resistor

Fonte: Elaborado pelo autor

Feito isso e considerando o material utilizado, os estudantes devem obter uma corrente elétrica entre $0,07A$ e $0,13A$ para cada um dos módulos utilizados (Figuras 50 e 51).



Figura 50 – Corrente elétrica produzida por um dos módulos fotovoltaicos ligados ao resistor

Fonte: Elaborado pelo autor

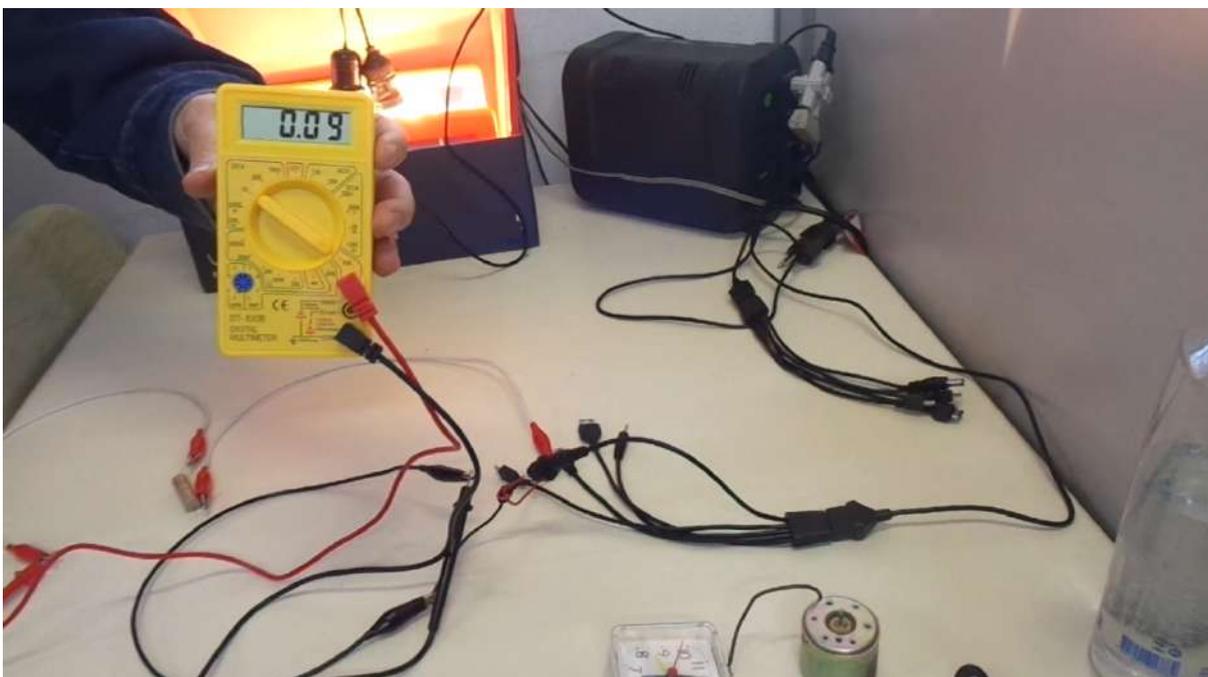


Figura 51 – Corrente elétrica produzida pelo outro módulo fotovoltaico ligado ao resistor

Fonte: Elaborado pelo autor

Após isso, os estudantes devem ligar ao resistor os dois módulos fotovoltaicos associados em paralelo, com o amperímetro ligado em série no resistor conforme o esquema mostrado na figura 52, para então, medir a corrente elétrica que passa por esse resistor, produzida pela associação feita com os dois módulos fotovoltaicos ligados em paralelo.

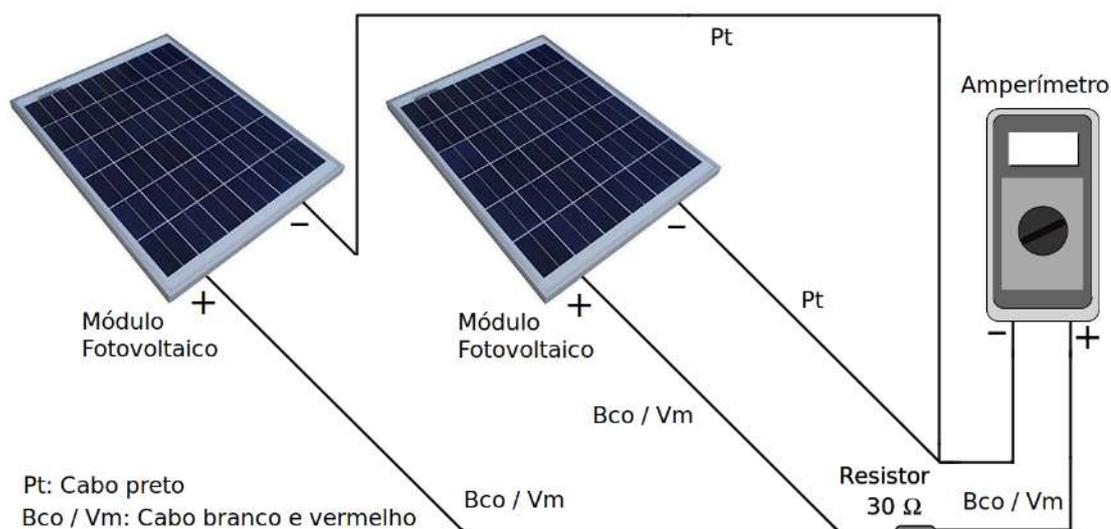


Figura 52 – Circuito para medição da corrente elétrica no resistor produzida pelos dois módulos fotovoltaicos associados em paralelo

Fonte: Elaborado pelo autor

Feito isso, os estudantes devem obter uma corrente elétrica de cerca de $0,19A$ para a associação em paralelo feita com os módulos fotovoltaicos (Figura 53).

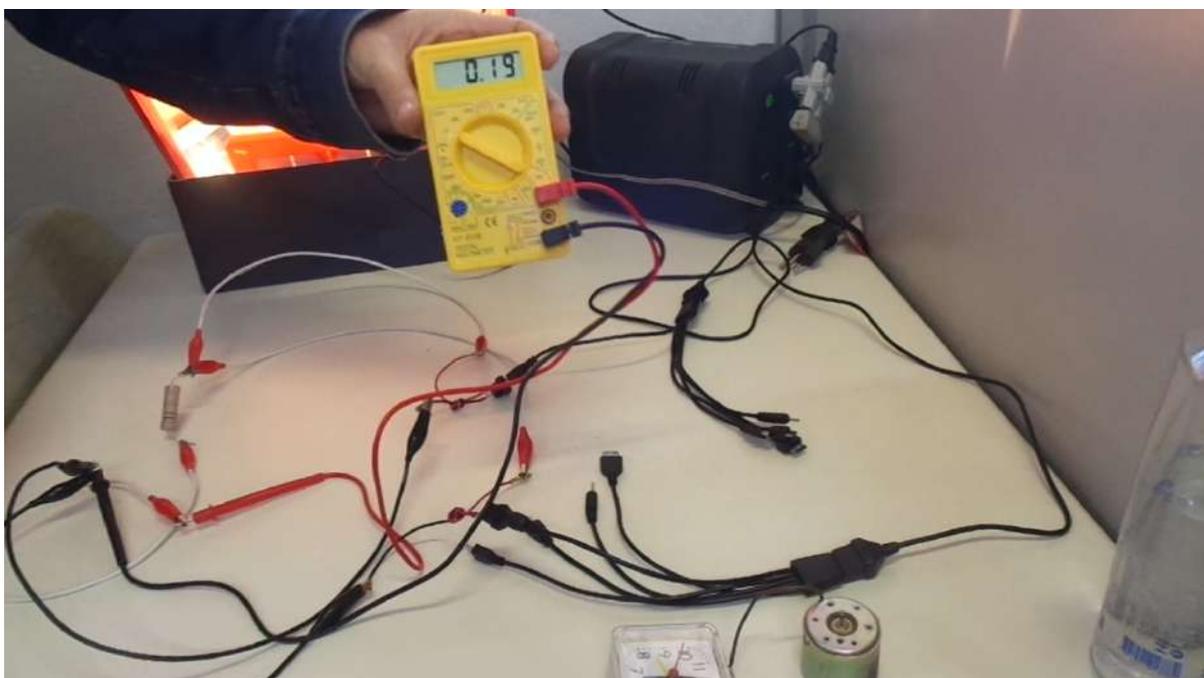


Figura 53 – Corrente elétrica produzida pelos dois módulos fotovoltaicos associados em paralelo

Fonte: Elaborado pelo autor

Nesse momento, o(a) professor(a) deve falar para os estudantes refletirem sobre os três valores de corrente elétrica medidos no experimento, e responderem sobre a finalidade de se realizar esse tipo de associação com os módulos fotovoltaicos. É esperado que os

estudantes respondam que o objetivo dessa associação é o de obter correntes elétricas maiores que as produzidas por apenas um módulo. Os estudantes mais atenciosos podem também responder que a corrente elétrica da associação é igual a soma das correntes elétricas produzidas por cada módulo.

Ao término das demonstrações e experimentos, cada grupo de estudantes deve preencher um relatório²⁹ que aborda os assuntos tratados na atividade.

3.3 Jogos de quiz

Dentre as possibilidades a serem utilizadas para a realização dos jogos, a plataforma Kahoot³⁰ foi escolhida por atender as necessidades desse trabalho, além de possibilitar a realização de uma avaliação do conhecimento obtido pelos estudantes em um ambiente bastante amigável e descontraído.

Foram desenvolvidos três jogos de quiz, sendo o primeiro sobre as reações de fusão nuclear³¹, o segundo sobre a radiação solar³² e o terceiro sobre células e módulos fotovoltaicos³³.

²⁹ <https://forms.gle/iUZZs21BbKSZ8ebo6>

³⁰ <https://kahoot.com/>

³¹ <https://play.kahoot.it/v2/?quizId=bf9cea75-130f-432f-bf73-168083924e65>

³² <https://play.kahoot.it/v2/?quizId=388c5030-b9e8-4ea5-8b62-46fb0e0eb848>

³³ <https://play.kahoot.it/v2/?quizId=74c58bbd-d137-42ad-817a-b1b8501e881e>

4 Desenvolvimento do Produto Educacional

A seguir, estão descritos os detalhes mais relevantes relacionados a elaboração do material criado para o produto desse trabalho.

4.1 Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)

Para elaboração do AVA foi utilizada a plataforma *Google Sites*¹, visto que a mesma é totalmente gratuita, apresenta um ambiente de criação bastante intuitivo e amigável, não exigindo conhecimentos avançados em linguagens de programação e tem a estabilidade padrão proporcionada pelo provedor, sendo leve e rodando bem nos principais navegadores (*Mozilla Firefox*, *Internet Explorer*, *Chrome*, *Opera* e *Safari*), além de apresentar total integração com outros recursos disponibilizados pelo *Google*, como o *YouTube*², *Google Forms*³, *Google Drive*⁴ e *Google Classroom*⁵ entre outros.

Para criar um site nessa plataforma, basta seguir os seguintes passos:

- Crie uma conta no *Google*, pode ser a mesma usada no *Gmail*.
- Acesse o endereço do *Google Sites* e click no botão <Criar novo site>
- Configure o novo site conforme sua preferência, escolhendo um tema, criando páginas e subpáginas, inserindo botões, vídeos, imagens, etc.
- Publique o site e divulgue o endereço para as pessoas de interesse.

4.1.1 Vídeos

Para produção do curso, alguns textos, imagens ou vídeos de terceiros foram utilizados, porém sempre fazendo referência aos autores dos mesmos. No caso dos vídeos, não houve modificações significativas no conteúdo original, pois basicamente foram feitos apenas cortes, a fim de manter somente as partes que interessavam do vídeo para o desenvolvimento do curso, além do acréscimo de legendas, visto que parte desses vídeos foram produzidos em língua estrangeira.

¹ <https://sites.google.com/new>

² <https://www.youtube.com>

³ <https://docs.google.com/forms>

⁴ <https://drive.google.com/drive>

⁵ <https://classroom.google.com>

Ao utilizar esses materiais de terceiros, alguns vídeo publicados no YouTube, ou parte dos mesmos, foram identificados prontamente pela plataforma como sendo originalmente produzido por estes. Com isso, seguindo seu procedimento padrão, o YouTube comunicou todos os interessados sobre o fato (autor original do material e quem esta utilizando o mesmo). Seguindo com a geração de restrições no uso deste material, impossibilitando que o mesmo seja monetizado (utilizado para gerar receita) e exigindo a concordância de quem esta utilizando o mesmo de que ele poderá eventualmente receber anúncios com a receita direcionada para o autor original do conteúdo. Apesar disso, o YouTube deixou claro que pode-se utilizar esse material desde que haja concordância com essas condições (Figura 54).

Espectro da radiação do corpo negro

Anúncios podem aparecer em seu vídeo.
Um conteúdo protegido por direitos autorais foi encontrado em seu vídeo. O reclamante permite que o conteúdo dele seja usado em seu vídeo do YouTube. No entanto, anúncios podem ser exibidos.

RESTRICÇÕES DE VISUALIZAÇÃO Nenhuma

GERAÇÃO DE RECEITA Não é possível gerar receita com o vídeo

Se você concorda com essas condições, não precisa realizar nenhuma ação. [Saiba mais](#)

CONTEÚDO	RECLAMANTE	POLÍTICA
Awaken - UPPM - FirstCom - Aaron Wheeler Gravação de som 1:51 - 2:33 reproduzir correspondência	AdShare MG for a Third Party Em nome de: Music House 2.0	Receita gerada pelo proprietário dos direitos autorais Remover música Enviar uma disputa

Figura 54 – Restrições de materiais de terceiros no YouTube

Fonte: Canal Física Suave no YouTube, acessado em 10/3/2019 no endereço <https://www.youtube.com/>

Após esse comunicado, o YouTube acrescentou na descrição do vídeo utilizado informações do autor original do conteúdo, conforme mostrado na Figura 55.

Como você pode ver, a combinação até agora parece amarelo.

Espectro da radiação do corpo negro

71 visualizações

Download 5 0 COMPARTILHAR SALVAR

Física Suave
Publicado em 25 de nov de 2018

INSCRITO 181

Entenda a relação entre a temperatura de um objeto aquecido e a sua cor. Para isso, veja neste vídeo como a intensidade e a cor (comprimento de onda) da radiação eletromagnética emitida por um corpo mudam conforme a sua temperatura também muda, assunto o qual abriu caminho para o nascimento da física moderna, através da mecânica quântica com o estudo da radiação do corpo negro. Para entender mais sobre assuntos relacionados, acesse o site do curso Energia Solar no endereço: <https://sites.google.com/view/energia...>

Categoria **Educação**

Música neste vídeo

Saiba mais

Ouça músicas sem anúncios com o YouTube Premium

Música	Awaken - UPPM - FirstCom
Artista	Aaron Wheeler
Álbum	MH040 Futurism
Licenciado para o YouTube por	AdShare MG for a Third Party (em nome de Music House 2.0); LatinAutor - Warner Chappell, LatinAutor - SonyATV, LatinAutor, LatinAutor - ACODEM, UBEM, União Brasileira de Compositores e 4 associações de direitos musicais

Informações inseridas pelo Youtube na descrição do video publicado com conteúdo de terceiros.

Figura 55 – Informações na descrição do vídeo inseridas pelo detentor de direitos autorais

Fonte: Canal Física Suave no YouTube, acessado em 10/3/2019 no endereço <https://www.youtube.com/>

4.1.2 Questionários

Dentro do site criado, foram inseridos questionários para os estudantes responderem, sendo esses elaborados no *Google Forms*, devido as mesmas facilidades já mencionadas anteriormente, além de disponibilizar correção automática de questões de múltipla escolha, boa organização dos resultados dos estudantes para o(a) professor(a) verificar acertos e pontuações, além de facilitar a correção das respostas de questões dissertativas.

4.2 Demonstrações e Experimentos

O experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul (Ver seção 3.2.2) e as demonstrações e experimentos sobre a captação da energia da luz (Ver seção 3.2.3) não requerem o preparo de nenhum material específico, a não ser os cabos, onde os fios precisarão ser soldados/fixados nas garras de jacaré e terminais, dispensando assim a necessidade de tutorias específicos sobre isso. Logo, a seguir será especificado apenas o procedimento para confecção dos modelos de núcleos atômicos para a demonstração da redução de massa na fusão nuclear (Ver seção 3.2.1).

4.2.1 Demonstração da redução de massa na fusão nuclear

Lista de materiais para confecção dos núcleos atômicos

- 22 bolinhas de isopor de 50mm de diâmetro.
- 1 tubo pequeno de cola para isopor
- 1 caneta de marcar CD/DVD
- 1 caixa de palitos de dente
- 1 pacote pequeno (aproximadamente 100 unidades) de pregos sem cabeça com 1,8mm de diâmetro e 27,6mm de comprimento (Figura 56).



Figura 56 – Pregos utilizados na confecção dos núcleos atômicos

Fonte: Elaborado pelo autor

Procedimento de elaboração dos núcleos atômicos

1) Inicie furando com o palito de dente as bolinhas que serão unidas para representar os núcleos de *deutério*, *hélio 3* e *hélio 4*. Faça furos com aproximadamente metade do comprimento do palito de dente e tenha o cuidado em furar as bolinhas sempre na

direção radial a fim de obter um bom alinhamento final dos modelos montados (Figura 57 e 58).



Figura 57 – Furando a 1ª bolinha de isopor com o palito de dente

Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 58 – Furando a ultima bolinha de isopor com o palito de dente para o *hélio 3*

Fonte: Elaborado pelo autor

2) Passe cola em metade de um palito e coloque-o em um dos furos feitos anteriormente (Figura 59 e 60).



Figura 59 – Passando cola no palito

Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 60 – Colocando o palito com cola no furo feito anteriormente

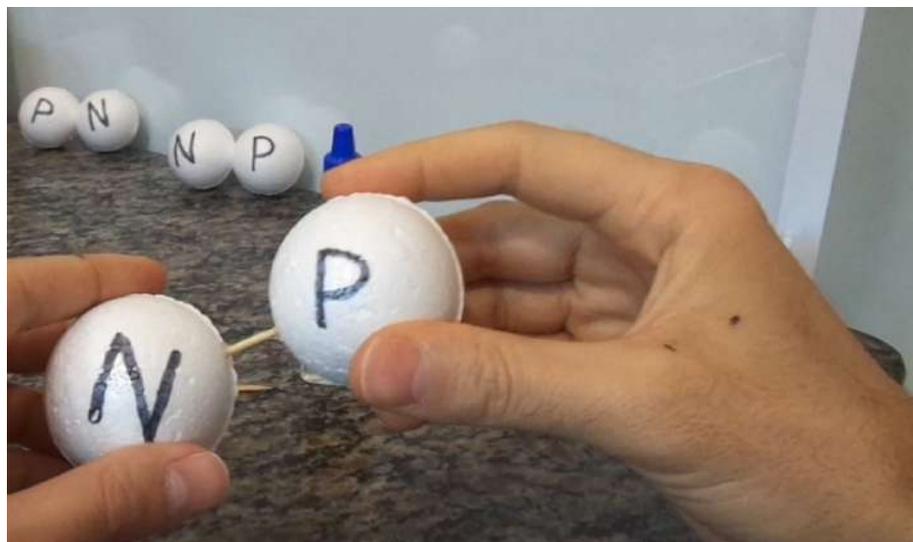
Fonte: Elaborado pelo autor

3) Passe cola na outra metade do palito e coloque-o no furo da outra bolinha que formará o modelo do núcleo em elaboração (Figura 61 e 62). Na elaboração dos modelos dos núcleos de *hélio 3* e *hélio 4* essa etapa requer mais cuidado, pois será necessário fazer o procedimento simultaneamente para três e quatro bolinhas respectivamente.



Figura 61 – Passando cola na outra metade do palito

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 62 – Colocando o palito com cola no furo feito na outra bola de isopor para o *deutério*

Fonte: Elaborado pelo autor

4) Caso não tenha identificado ainda os *prótons* (P) e os *nêutrons* (N), faça isso agora. Utilize para isso a caneta de marcar CD/DVD (Figura 63). Embora essa etapa possa ser realizada antes da montagem dos modelos dos núcleos, é sugerida que a mesma seja feita agora, a fim de facilitar o alinhamento das letras e conseqüentemente melhorar a apresentação final dos modelos.



Figura 63 – Identificando *prótons* e *nêutrons* nas bolinhas

Fonte: Elaborado pelo autor

5) Na última etapa, é chegada a hora de "dar massa as partículas". Para isso o(a) professor(a) utilizará os pregos, introduzindo-os nas bolinhas em quantidades iguais nos modelos que representam o mesmo núcleo, ou seja, todos os modelos de núcleo de *hidrogênio* precisarão ter cada um a mesma quantidade de pregos (Figura 64).



Figura 64 – Introduzindo os pregos nas bolinhas

Fonte: Elaborado pelo autor

Para auxiliar, o(a) professor(a) pode utilizar algum objeto para empurrar o prego totalmente para dentro da bolinha (Figura 65). Após introduzir todos os pregos em um

modelo de núcleo, coloque uma gota de cola em cada furo a fim de fechá-lo quando a cola secar, evitando assim a saída indesejável do prego (Figura 66).



Figura 65 – Introduzindo os pregos nas bolinhas com um objeto

Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 66 – Colocando cola nos furos dos pregos

Fonte: Elaborado pelo autor

Essa etapa de preparo dos modelos é a que requer maior cuidado e planejamento do(a) professor(a), pois a redução de massa em cada reação da cadeia próton-próton deve ser medida também nos modelos durante as demonstrações junto aos estudantes. Para isso foram utilizadas as seguintes quantidades de pregos para cada modelo de núcleo atômico:

- *Hidrogênio (Próton)*: 7 pregos
- *Deutério*: 4 pregos
- *Hélio 3*: 7 pregos
- *Hélio 4*: nenhum prego

Note que embora a quantidade de bolinhas e de pregos sejam iguais nos modelos antes e depois na última etapa das reações, em que é formado o *Hélio 4*, a massa nos dois modelos de núcleos de *Hélio 3* permaneceu maior que a soma das massas dos modelos dos núcleos do *Hélio 4* mais os dois *Hidrogênios*, pois nesses últimos modelos foram utilizados menos palitos de dente que nos primeiros.

4.3 Jogos de quiz

O desenvolvimento de jogos de quiz no Kahoot⁶ é bastante simples, intuitivo e pode ser feito sem qualquer custo, bastando para isso o(a) professor(a) criar uma conta na plataforma, clicar em "Create new", escolher "Quiz" e começar a incluir as informações do jogo a ser desenvolvido, como o título, descrição, vídeo introdutório e as questões do jogo.

⁶ <https://kahoot.com/>

5 Aplicação do Produto

O produto desse trabalho de mestrado foi aplicado junto a quatro turmas de terceiros anos do ensino médio da Escola Estadual Cônego João Ligabue, localizada na Zona Norte da cidade de São Paulo.

As turmas que participaram das atividades possuíam duas aulas presenciais com duração de 50 minutos por semana. As aulas do AVA foram disponibilizadas para os estudantes uma a uma semanalmente na sala de informática da escola, visto que, antes de iniciar a aplicação do produto, parte dos estudantes da escola declararam não possuírem um computador, tablet ou celular com acesso a internet em casa para estudar (Figura 67).



Figura 67 – Local declarado pelos estudantes no qual possuem um computador, tablet ou celular com acesso a internet para estudar

Fonte: Pesquisa do autor

Somado a isso, a maioria dos estudantes da escola declararam também que nunca estudam em casa ou quando estudam, o tempo total é de apenas 1 hora por semana (Figura 68). Logo, foram gastas 14 aulas em encontros presenciais com os estudantes para aplicação do produto, incluindo o levantamento de conhecimentos prévios e pós-instrução, o tempo disponibilizado para utilizarem os computadores para a realização das aulas no AVA, as demonstrações, os experimentos e os jogos de quiz.



Figura 68 – Total de horas semanais de estudo em casa declaradas pelos estudantes

Fonte: Pesquisa do autor

Os estudantes mostraram-se bastante participativos e interessados na realização das demonstrações e experimentos propostos. Em todas essas atividades os estudantes foram solicitados a participarem e alguns registros por fotos ou vídeo foram realizados conforme descrito a seguir.

Nas demonstrações das reduções de massa que ocorrem nas reações de fusão nuclear no Sol (Ver seção 3.2.1), foi realizada a gravação de um vídeo da aula e posterior disponibilização para os estudantes, visando que todos, inclusive os que por algum motivo tenham faltado a escola nesse dia, pudessem posteriormente assistir as atividades realizadas.



Figura 69 – Aula com os estudantes participando das demonstrações das reações de fusão nuclear no Sol

Fonte: Trabalho do autor

No experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul (Ver secção 3.2.2), foram formados grupos de até cinco estudantes para a realização da atividade, não sendo possível concluir a mesma em apenas uma aula, visto que havia apenas dois kits para realização da atividade, ou seja, apenas dois grupos por vez conseguiam fazê-la, com os grupos mais rápidos gastando cerca de metade da aula até sua finalização.

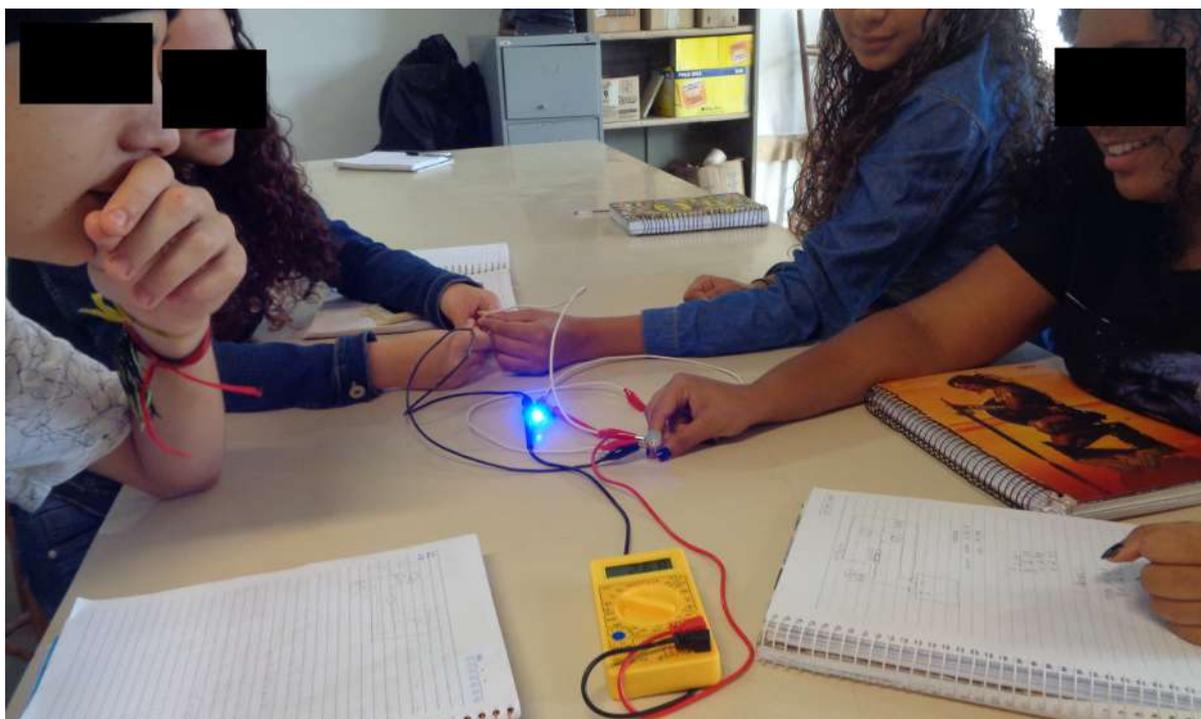


Figura 70 – Estudantes realizando o experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul - Foto 1

Fonte: Trabalho do autor

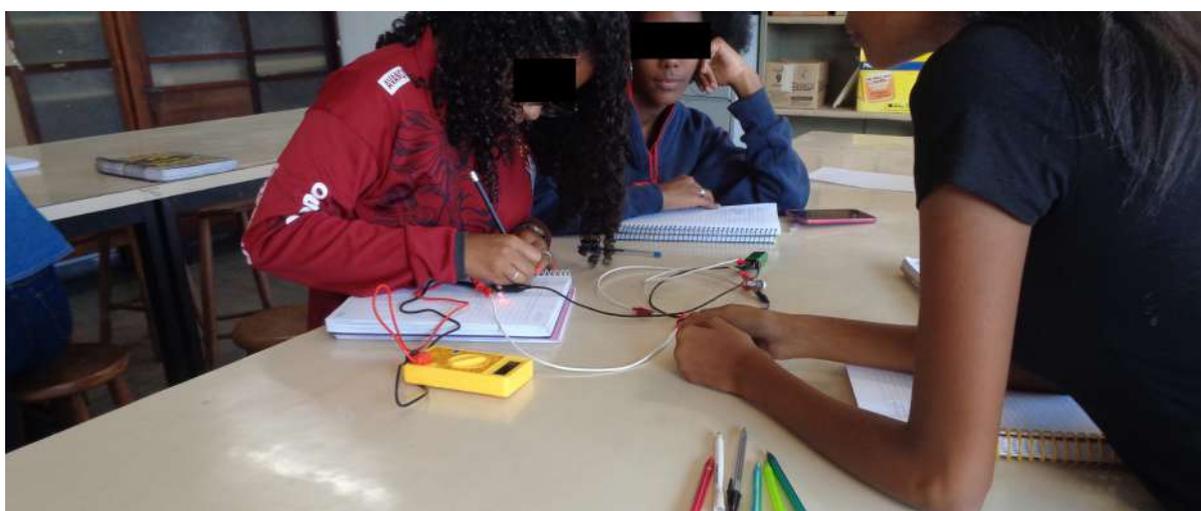


Figura 71 – Estudantes realizando o experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul - Foto 2

Fonte: Trabalho do autor

Nas demonstrações e experimentos sobre a captação da energia da luz (Ver seção 3.2.3), também foram formados grupos de até cinco estudantes para a realização do experimento de associações de módulos fotovoltaicos. Apesar dos estudantes terem realizados as atividades desse experimento mais rápido que do experimento anterior, uma quantidade de aulas próxima a desse outro experimento foi também necessária aqui, visto que havia apenas um kits de dois módulos fotovoltaicos para os estudantes utilizarem. Parte dos estudantes realizaram o experimento na luz do Sol, e em um dia posterior, outra parte dos estudantes realizaram o experimento utilizando lâmpadas e espelhos, visto que estava chovendo.



Figura 72 – Estudantes realizando os experimentos sobre a associação de módulos fotovoltaicos - Foto 1

Fonte: Trabalho do autor

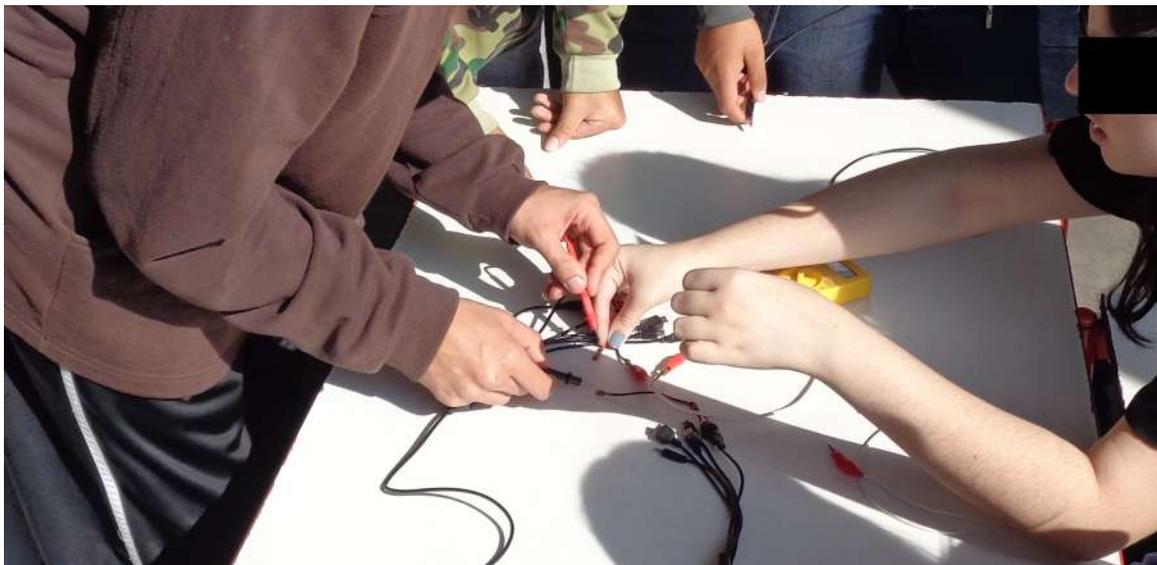


Figura 73 – Estudantes realizando os experimentos sobre a associação de módulos fotovoltaicos - Foto 2

Fonte: Trabalho do autor

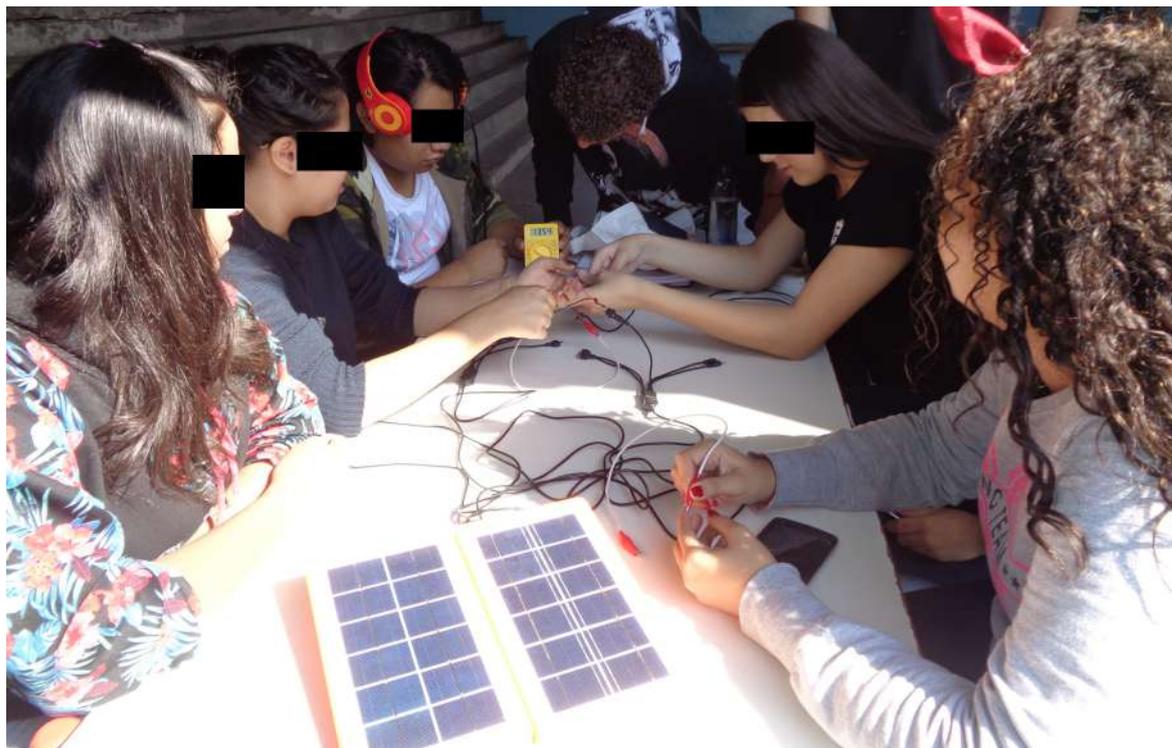


Figura 74 – Estudantes realizando os experimentos sobre a associação de módulos fotovoltaicos - Foto 3

Fonte: Trabalho do autor

5.1 Levantamento dos Conhecimentos Prévios e Pós-instrução dos Estudantes

Para levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes das turmas nas quais o produto desse trabalho de mestrado foi aplicado, foi solicitado aos integrantes de cada turma que elaborassem um mapa conceitual em uma atividade colaborativa, ou seja, todos os estudantes de cada turma trabalhando juntos na elaboração de um único mapa sobre o tema Energia Solar (Figura 75, 76, 77 e 78). Para isso os estudantes de cada sala utilizaram um arquivo do *Google Drawing* (*Desenhos Google*) disponibilizado em uma nuvem para edição.

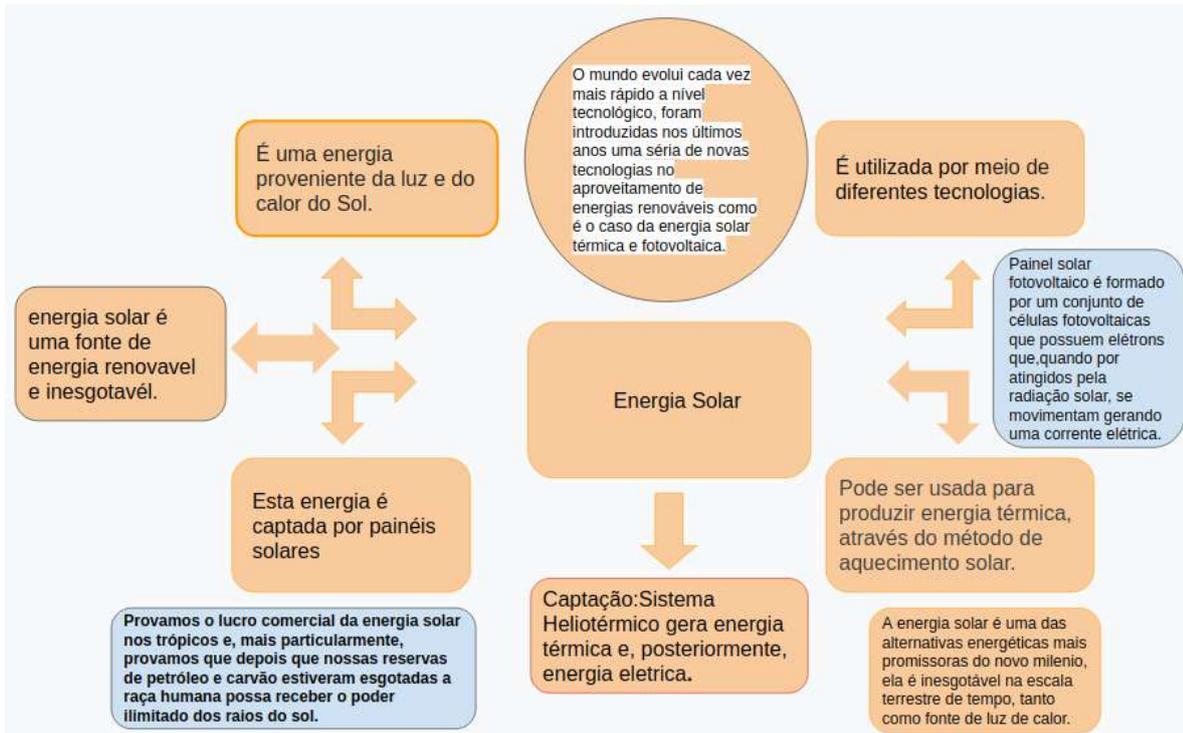


Figura 75 – Mapa conceitual de conhecimentos prévios elaborado pelos estudantes do 3º A

Fonte: Elaborado pelos estudantes do 3º A do EM da EE Cônego João Ligabue

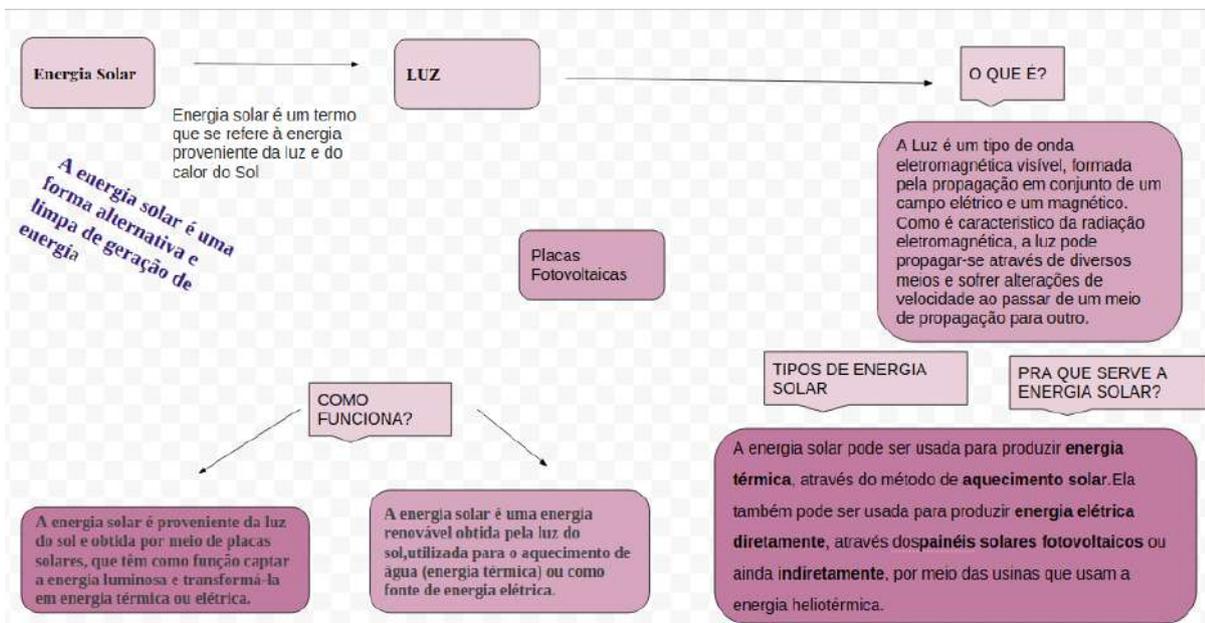


Figura 76 – Mapa conceitual de conhecimentos prévios elaborado pelos estudantes do 3º B

Fonte: Elaborado pelos estudantes do 3º B do EM da EE Cônego João Ligabue

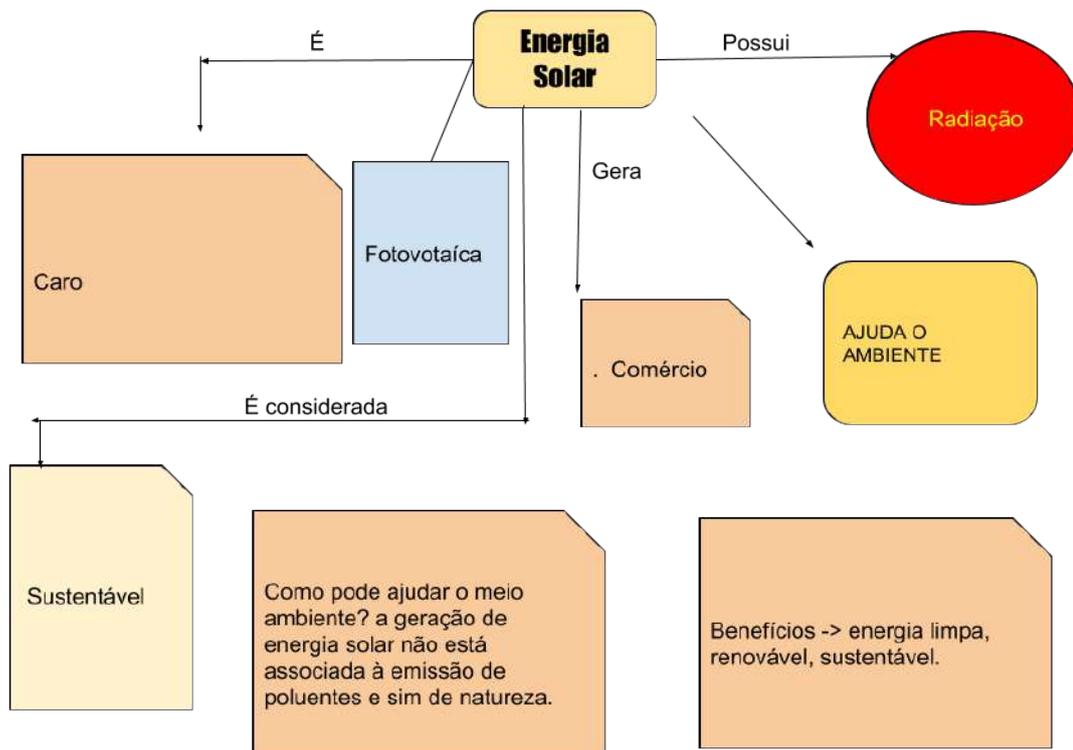


Figura 77 – Mapa conceitual de conhecimentos prévios elaborado pelos estudantes do 3ºC

Fonte: Elaborado pelos estudantes do 3ºC do EM da EE Cônego João Ligabue

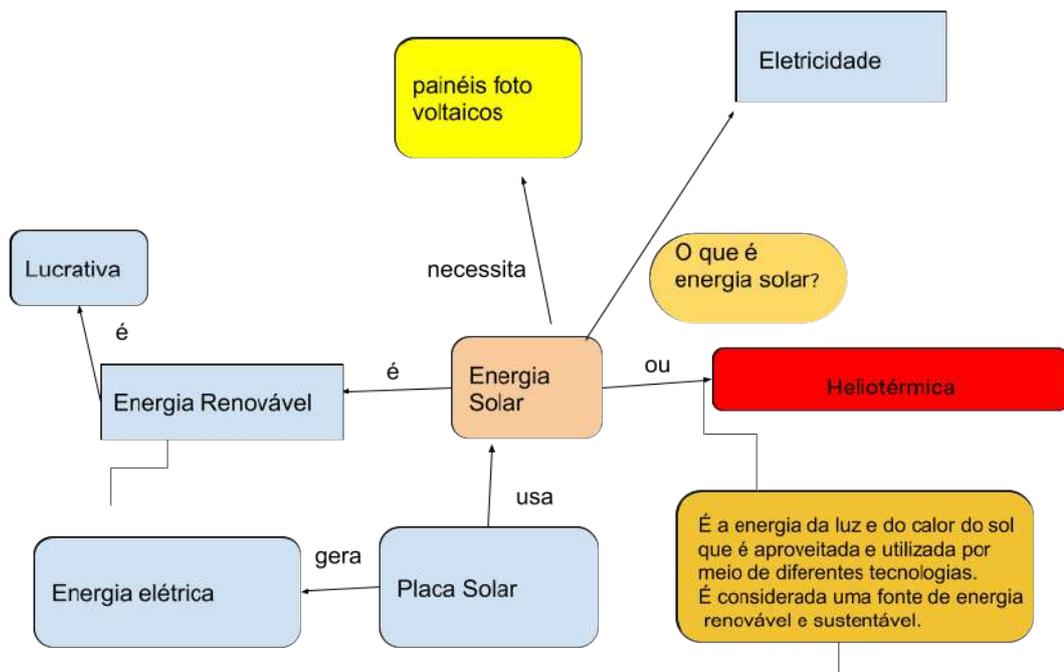


Figura 78 – Mapa conceitual de conhecimentos prévios elaborado pelos estudantes do 3ºD

Fonte: Elaborado pelos estudantes do 3ºD do EM da EE Cônego João Ligabue

Após a conclusão do curso, cada turma de estudantes foi solicitada para elaborar um novo mapa conceitual, produzindo um material pós-instrução a ser utilizado para uma comparação com o mapa elaborado previamente, e assim, possibilitar uma análise para inferir se os estudantes obtiveram aprendizado nos estudos realizados. Para a elaboração desses novos mapas conceituais, cada turma realizou uma atividade colaborativa na qual os estudantes em conjunto elaboraram o mapa na lousa da sala de aula (Figura 79, 80, 81 e 82).

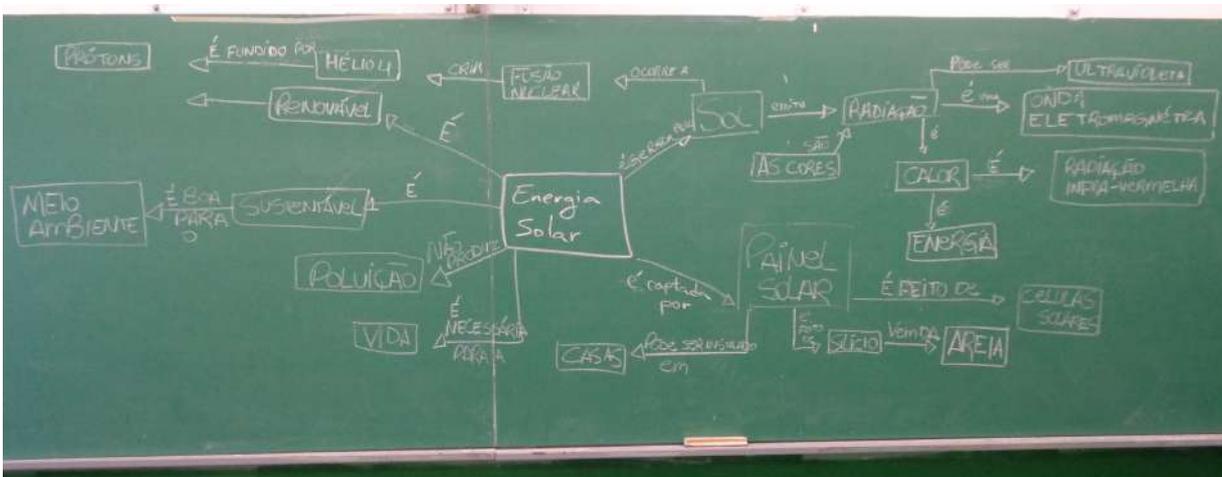


Figura 79 – Mapa conceitual de conhecimentos pós instrução elaborado pelos estudantes do 3ºA

Fonte: Elaborado pelos estudantes do 3ºA do EM da EE Cônego João Ligabue



Figura 80 – Mapa conceitual de conhecimentos pós instrução elaborado pelos estudantes do 3ºB

Fonte: Elaborado pelos estudantes do 3ºB do EM da EE Cônego João Ligabue

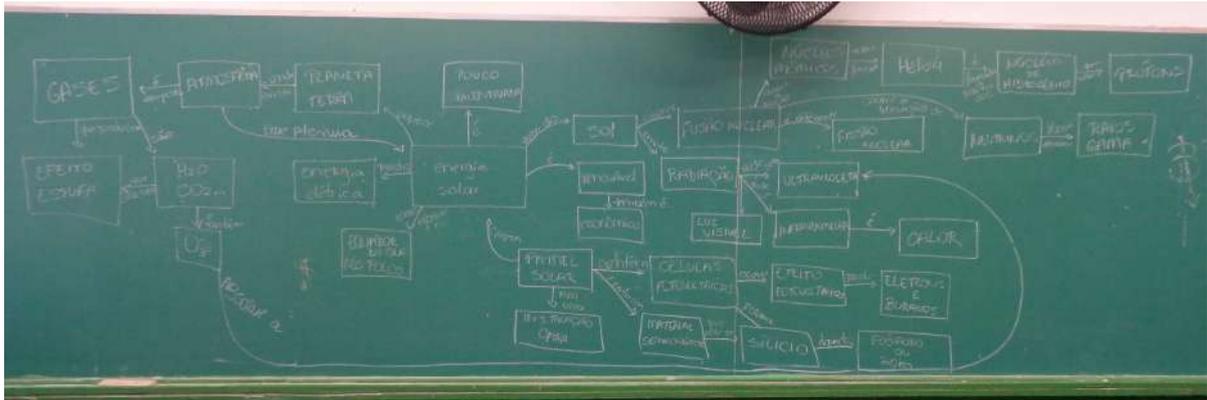


Figura 81 – Mapa conceitual de conhecimentos pós instrução elaborado pelos estudantes do 3º C

Fonte: Elaborado pelos estudantes do 3º C do EM da EE Cônego João Ligabue



Figura 82 – Mapa conceitual de conhecimentos pós instrução elaborado pelos estudantes do 3º D

Fonte: Elaborado pelos estudantes do 3º D do EM da EE Cônego João Ligabue

Em uma pesquisa de autoavaliação, 51 estudantes que participaram das atividades do curso responderam a mesma, demonstrando terem também uma percepção de melhora em seus níveis de habilidades e conhecimentos após a realização do curso, conforme mostrado na tabela 3.

Tabela 3 – Pesquisa de autoavaliação dos estudantes

Autoavaliação dos estudantes em relação aos seus níveis de habilidades e conhecimentos	Fraco	Moderado	Satisfatório	Bom	Excelente
Seu nível no início do curso	13	16	13	6	3
Seu nível no final do curso	2	15	19	12	3

Fonte: Pesquisa do autor

5.2 Pesquisa de satisfação

Ao término da aplicação da sequência didática, os 51 estudantes que participaram das atividades do curso e responderam a pesquisa de satisfação, registraram em suas respostas terem gostado do material e das atividades realizadas conforme mostrado na tabela 4.

Tabela 4 – Pesquisa de satisfação dos estudantes

Recurso de ensino-aprendizagem	Avaliação pelos estudantes				
	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Excelente
Ambiente Virtual de Aprendizagem	6	2	18	18	7
Demonstração de Fusão Nuclear	4	5	7	16	19
Exp. para descobrir o λ das cores	2	1	9	18	21
Dem. e exp. c/ módulos fotovoltaicos	4	3	4	18	22
Jogos de Quizzes	6	1	3	16	25

Fonte: Pesquisa do autor

Alguns desses estudantes responderam também sobre o que gostaram mais no curso, conforme descrito nas respostas a seguir:

"Gostei mais do uso dos computadores, sendo utilizados para uma diferença das aulas clássicas e monótonas."

"O uso do jogo, pois ele é uma atividade criativa que incentiva mais nós estudantes a participarem das aulas."

"Os vídeos rápidos e explicativos."

"A didática das aulas."

"A variedade de métodos, e a inclusão de métodos digitais."

"O Kahoot e o Google Classroom."

"Foi uma aula que fizemos coisas diferentes em sites, eu gostei por não utilizar muito a lousa."

"A sala de informática e o Google sala de aula."

"As experiências foram interessantes, os jogos de quiz de coisas que aprendemos em sala de aula foram eficientes para nos fazer entender um pouco mais sobre a matéria."

"A acessibilidade para realização das atividades do curso."

"Com certeza as aulas diferenciadas."

"Os vídeos e os experimentos propostos."

Por fim, alguns dos estudantes responderam sobre quais aspectos poderiam ser melhorados neste curso, conforme descrito a seguir:

- "O professor poderia dar mais exemplos de exercícios resolvidos."
- "Mais aulas com melhor infraestrutura."
- "Mais aulas teóricas."
- "Queria que este curso fosse na minha própria sala de aula."
- "Mais aulas explicativas."
- "Com mais vídeos que são muito bons para refletir."
- "Queria que tivesse vídeos aulas onde o professor dá uma esclarecida nos conteúdos, nas fórmulas das contas e nos exemplos."
- "Com uma explicação em tópicos na lousa."
- "Com mais aulas práticas."
- "Tendo mais jogos."
- "Com mais aulas na sala de laboratório."
- "Trazendo mais experiências no laboratório e algo mais diferenciado em matérias."

6 Considerações Finais e Conclusão

Em uma das ideias iniciais desse trabalho, a qual não se mostrou viável para os estudantes das turmas da escola onde esse produto foi aplicado pelo autor, conforme descrito no início do capítulo 5, devido entre outros fatores a nem todos os estudantes possuírem um dispositivo com acesso a internet em casa para estudar, o(a) professor(a) que possuir turmas nas quais todos os estudantes possam realizar as aulas do AVA a distância e com antecedência as aulas presenciais poderá terminar a aplicação desse produto em cinco aulas a menos que a quantidade descrita na sequência didática desse material (Ver seção A.6 no Apêndice A), pois os estudantes poderão realizar as aulas do AVA com antecedência, para só então, se encontrarem presencialmente com o(a) professor(a) na escola para realizar as atividades necessariamente presenciais. Apesar de haver seis aulas usando o AVA na sequência didática desse material, o(a) professor(a) conseguirá reduzir apenas cinco aulas com essa alteração, pois na primeira aula usando o AVA, existe um texto a ser trabalhado presencialmente com os estudantes, conforme descrito na seção A.6.2.3.

Durante a aplicação do produto, por motivos diversos, nem todos os estudantes avançavam juntos na realização das atividades disponibilizadas. Era comum parte dos estudantes estarem fazendo uma determinada aula do AVA e outra parte fazendo outra, ou mesmo realizando algum experimento ou escrevendo algum relatório de uma demonstração. Isso foi interpretado como uma qualidade na forma como o material foi disponibilizado para os estudantes e como o produto foi aplicado, possibilitando aos estudantes poderem acompanhar o curso e fazerem as atividades disponibilizadas mesmo tendo faltado à alguma das aulas, pois as aulas usando o AVA ficaram disponíveis para realização em qualquer momento e local, e nos encontros presenciais os estudantes puderam esclarecer dúvidas, realizar os experimentos e escrever os relatórios.

Finalmente, a partir da comparação dos mapas conceituais de conhecimentos prévios e de pós-instrução (Ver seção 5.1), foi percebida uma melhora significativa dos conhecimentos dos estudantes relacionados aos assuntos abordados no curso. Nota-se que estes estudantes melhoraram suas habilidades em relacionar os tópicos de energia solar estudados, sendo capazes de inter-relacionar assuntos relativos a produção da energia no Sol, sua transmissão pelo espaço e sua captação e utilização aqui na Terra. Foi percebido também que diferente dos mapas de conhecimentos prévios, nos mapas de conhecimentos pós-instrução, os estudantes deixaram de copiar e colar frases obtidas na internet, aparentemente desvinculadas de qualquer conhecimento real, para produzirem a partir de suas próprias ideias estruturas esquemáticas que representassem de forma correta mapas conceituais com os assuntos estudados.

Referências

- ABSOLAR, A. B. de E. S. F. Energia solar fotovoltaica ultrapassará a marca de 3.000 megawatts no brasil em 2019. 2019. Disponível em: <<http://absolar.org.br/noticia-/noticias-externas/energia-solar-fotovoltaica-ultrapassara-a-marca-de-3000-megawatts-no-brasil-em-2019.html>>. Citado na página 127.
- ALVES, E. G.; SILVA, A. F. da. Usando um led como fonte de energia. *Revista Física na Escola*, v. 9, n. 1, p. 26–28, 2008. Citado na página 42.
- AZEVEDO, M. C. P. S. de; ANDRADE, R.; PIETROCOLA, M. O ensino de física: Busca de parâmetros para análise de situações em sala de aula. *In Anais do X EPEF - Encontro de Pesquisa e Ensino de Física*, v. 22, n. 2, p. 1–16, 2006. Citado na página 32.
- BRASIL. 2018. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular - BNCC. Versão Final. Citado na página 126.
- BRUNER, J. S. *The Process of Education*. 2ª. ed. [S.l.]: Harvard University Press, 1977. ISBN 0-674-71001-0. Citado na página 35.
- BURATTINI, M. D. C. *Energia uma abordagem multidisciplinar*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2008. ISBN 978-85-88325-99-9. Citado na página 40.
- CAVALCANTE, M. A. et al. Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. *Revista Física na Escola*, v. 3, n. 1, p. 24–29, 2002. Citado 5 vezes nas páginas 40, 42, 43, 45 e 57.
- COSTA, F. A. et al. *Repensar as TIC na educação - O professor como agente transformador*. 1ª. ed. [S.l.]: Editora Santillana, 2012. ISBN 978-989-708-230-6. Citado na página 33.
- COSTA, T. Q.; CHERPINSKI, U. da S. Medição da eficiência de uma célula fotovoltaica. *Revista Física na Escola*, v. 16, n. 2, p. 73–77, 2018. Citado na página 42.
- FERNANDES, G.; RODRIGUES, A.; FERREIRA, C. Módulos temáticos virtuais: uma proposta pedagógica para o ensino de ciências e o uso das tics. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 3, p. 934–962, 2015. Citado na página 35.
- FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. *Lições de Física de Feynman*. [S.l.]: Editora Bookman, 2008. Tradução Antônio José Roque da Silva e Sylvio Roberto Accioly Canuto. ISBN 978-85-7780-323-1 (v.3). Citado 4 vezes nas páginas 60, 62, 63 e 64.
- FISH, D.; POPE, D. Measuring planck's constant. In: . Perimeter Institute for Theoretical Physics PI, 2008. Produced by Conrad Entertainment Incorporation. Disponível em: <<https://www.perimeterinstitute.ca/>>. Citado 4 vezes nas páginas 40, 45, 46 e 78.
- FLORENCIO, M.; TRIGOSO, F. B. M. Desenvolvimento de competências e habilidades de energia solar fotovoltaica por meio de uma atividade extracurricular na educação

- profissional técnica. In: *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018*. [S.l.: s.n.], 2018. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.
- GRIFFITHS, D. J. *Introduction to Quantum Mechanics*. 1ª. ed. [S.l.]: Editora Prentice-Hall, 1994. ISBN 0-13-124405-1. Citado 2 vezes nas páginas 57 e 58.
- GRIFFITHS, D. J. *Eletrodinâmica*. 3ª. ed. [S.l.]: Editora Person, 2011. Tradução Heloisa Coimbra de Souza e revisão técnica Antonio Manoel Mansanares. ISBN 978-85-7605-886-1. Citado na página 54.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física, Volume 4: Óptica e Física Moderna*. 8ª. ed. [S.l.]: LTC, 2009. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. ISBN 978-85-216-1608-5. Citado 3 vezes nas páginas 48, 49 e 50.
- HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. *Energia e Meio Ambiente*. 3ª. ed. [S.l.]: Editora Thomson, 2003. Traduzido por Flávio Maron Vichi e Leonardo Freire de Mello. ISBN 85-221-0337-2. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 39.
- HWANG, G.-J.; LAI, C.-L.; WANG, S.-Y. Seamless flipped learning: a mobile technology-enhanced flipped classroom with effective learning strategies. *Journal of Computers in Education*, Springer, v. 2, n. 4, p. 449–473, 2015. Citado na página 34.
- IBGE, A. N. IBGE apresenta nova área territorial brasileira: 8.515.767,049 km². 2012. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14318-asi-ibge-apresenta-nova-area-territorial-brasileira-8515767049-km>>. Citado na página 127.
- KALOGIROU, S. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. [S.l.]: Elsevier Science, 2009. (EngineeringPro collection). ISBN 9780080922874. Citado 3 vezes nas páginas 37, 38 e 39.
- KITTEL, C. *Introduction to Solid State Physics*. 8ª. ed. [S.l.]: Editora Prentice-Hall, 2005. ISBN 0-471-41526-X. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 59.
- KRISTIANTI, T. P.; RAMLI, M.; ARIYANTO, J. Improving the argumentative skills of high school students through teacher's questioning techniques and argumentative assessment. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1013, n. 1, p. 012012, 2018. Citado na página 33.
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. d. S. Levantamento dos recursos de energia solar no brasil com o emprego de satélite geoestacionário—o projeto swera. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 26, n. 2, p. 145–159, 2004. Citado na página 37.
- MATTAR, J.; NESTERIUK, S. Estratégias do design de games que podem ser incorporadas à educação a distância. *RIED: Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, AIESAD, v. 19, n. 2, p. 91–106, 2016. Citado na página 34.
- MOREIRA, M. A. *Teoria de Aprendizagem*. 2ª. ed. [S.l.]: Editora Pedagógica e Universitária Ltda., 2011. ISBN 9788512321806. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. *Revista do Professor de Física*, v. 1, n. 1, p. 1–13, 2017. Citado na página 32.

MOREIRA, M. A. Ensino de física no século xxi. *Revista do Professor de Física*, v. 2, n. 3, p. 80–94, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

NASA, S. R. P. Solar radiation. 2019. Acessado em 07/09/2019. Disponível em: <<https://atmospheres.gsfc.nasa.gov/climate/index.php?section=136>>. Citado na página 56.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física básica - Vol. 4: Ótica, relatividade e Física quântica*. 1ª. ed. [S.l.]: Editora Blucher, 1998. ISBN 978-85-212-0163-2. Citado 6 vezes nas páginas 48, 51, 52, 53, 59 e 60.

SCHIEHL, E. P.; GASPARINI, I. Modelos de ensino híbrido: Um mapeamento sistemático da literatura. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2017. v. 28, n. 1, p. 1. Citado na página 34.

SMETS, A. H. et al. *Solar Energy, The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*. [S.l.]: UIT Cambridge Ltd, 2016. ISBN 978 1 906860 73 8 (ePub). Citado 8 vezes nas páginas 47, 55, 56, 60, 61, 62, 63 e 64.

SOUZA, J. R. P. S. *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações para o Ensino Médio*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará, 2016. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_JoseRicardo.pdf>. Citado na página 41.

SOUZA, M. A. V. F. de; SAD, L. A.; THIENGO, E. R. *Aprendizagem em Diferentes Perspectivas - Uma Introdução*. [S.l.]: Centro de Referência em Formação e em Educação a Distância (Cefor/Ifes), 2015. ISBN 978-85-8263-105-8. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.

STUDART, N. A invenção do conceito de quantum de energia segundo Planck. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 4, p. 523–535, 2000. Citado 4 vezes nas páginas 50, 51, 52 e 53.

STUDART, N. Caetano, o quantum de Planck e a expansão do universo. *Revista Física na Escola*, v. 2, n. 1, p. 23–24, 2001. Citado na página 51.

STUDART, N. Simulação, games e gamificação no ensino de física. *XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF*, p. 1–17, 2015. Disponível em: <http://eventos.ufabc.edu.br/2ebef/wp-content/uploads/2015/10/Studart_XXI_SNEF_Final_NEW.pdf>. Citado na página 34.

STUDART, N. Feynman e o ensino de física. *Revista Física na Escola*, v. 16, n. 2, p. 10–17, 2018. Citado na página 32.

WIEMAN, C. E.; ADAMS, W. K.; PERKINS, K. K. Phet: Simulations that enhance learning. *The Physics Teacher*, AAAS, v. 322, n. 5902, p. 682–683, 2008. Citado na página 34.

APÊNDICE A – Produto Educacional

O produto educacional dessa dissertação de mestrado está disponibilizado neste apêndice para uma pronta utilização pelos professores junto a seus estudantes em suas respectivas turmas.

Os conteúdos abordados no material são explorados de forma contextualizada em um curso híbrido, utilizando metodologias ativas de ensino que buscam proporcionar aos estudante uma aprendizagem significativa de assuntos de Física Contemporânea.

O Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) desenvolvido nesse produto educacional foi construído de forma simples por meio de ferramentas como Google Sites¹, YouTube² e Google Forms³. Os jogos de quiz foram criados no Kahoot⁴ e o simulador usado é do PhET⁵. Todas as plataformas e ferramentas descritas podem ser acessadas gratuitamente na internet, sendo as mesmas de fácil utilização para a criação de material educacional, não requerendo qualquer conhecimento específico de linguagens de programação. Assim, professores podem desenvolver materiais educacionais na internet de forma semelhante, usando apenas seus próprios conhecimentos e criatividade. Além do material desenvolvido na internet, este produto educacional conta também com demonstrações e experimentos para uma maior diversificação das metodologias utilizadas.

¹ <https://sites.google.com/new>

² <https://www.youtube.com>

³ <https://docs.google.com/forms>

⁴ <https://kahoot.com>

⁵ https://phet.colorado.edu/pt_BR

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Ensinando Energia Solar com Ambiente Virtual de Aprendizagem, Demonstrações, Experimentos e Jogos⁶



Alberto da Silva Seguro

Orientação: Nelson Studart

Dezembro de 2019

⁶ Créditos da imagem da capa: Yuval Y, Me catching the sun, disponível em <https://fic.kr/p/5MSiEB>

Sumário

A.1	Introdução	126
A.2	Física	127
A.3	Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)	128
A.3.1	AVA: Fusão e fissão nuclear	129
A.3.2	AVA: Fusão nuclear no Sol	130
A.3.3	AVA: Energia da radiação	132
A.3.4	AVA: Espectro da radiação	133
A.3.5	AVA: Energia fotovoltaica e heliotérmica	135
A.3.6	AVA: Células e módulos fotovoltaicos	136
A.4	Demonstrações e Experimentos	138
A.4.1	Demonstração da redução de massa na fusão nuclear	138
A.4.2	Experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul	140
A.4.3	Demonstrações e experimentos sobre a captação da energia da luz	140
A.5	Jogos de quiz	141
A.6	Sequência Didática	143
A.6.1	Aula 1: Aula introdutória	145
A.6.1.1	Atividade 1: Levantamento de conhecimentos prévios	145
A.6.1.2	Atividade 2: Apresentação do conteúdo de Física a ser trabalhado no curso	145
A.6.2	Aula 2: Fusão e fissão nuclear (AVA)	146
A.6.2.1	Atividade 1: Conhecendo a fusão nuclear	147
A.6.2.2	Atividade 2: Questões de múltipla escolha sobre as reações de fusão e fissão nuclear	147
A.6.2.3	Atividade 3: Texto sobre o reator de fusão nuclear ITER	148
A.6.2.4	Atividade 4: Questão dissertativa sobre reações nucleares	149
A.6.3	Aula 3: Discussão e demonstrações sobre fusão nuclear	149
A.6.3.1	Atividade 1: Discussão sobre os elementos químicos e como eles se formam	150

A.6.3.2	Atividade 2: Demonstração das reações de fusão nuclear	150
A.6.3.3	Atividade 3: Introdução do conceito de transformação de massa em energia	151
A.6.3.4	Atividade 4: Relatório sobre a discussão e as demonstrações sobre fusão nuclear	151
A.6.4	Aula 4: Fusão Nuclear no Sol (AVA)	152
A.6.4.1	Atividade 1: Conhecendo com detalhes as reações da cadeia próton-próton	153
A.6.4.2	Atividade 2: A energia liberada nas reações	153
A.6.4.3	Atividade 3: Questões de múltipla escolha sobre as reações da cadeia próton-próton e transformação de massa em energia	154
A.6.4.4	Atividade 4: Questão dissertativa sobre radiações	154
A.6.5	Aula 5: Jogo de quiz sobre reações de fusão nuclear	155
A.6.5.1	Atividade 1: Quiz sobre reações de fusão nuclear	156
A.6.6	Aula 6: Energia da radiação (AVA)	156
A.6.6.1	Atividade 1: A luz e o espectro eletromagnético	157
A.6.6.2	Atividade 2: A energia dos fótons de uma dada radiação	157
A.6.6.3	Atividade 3: Questões de múltipla escolha sobre a energia da radiação	157
A.6.6.4	Atividade 4: Questão dissertativa sobre a cor do Sol	158
A.6.7	Aula 7: Experimento para determinação dos comprimentos de onda das cores	159
A.6.7.1	Atividade 1: Levantamento da energia dos fótons das cores vermelha, verde e azul	159
A.6.7.2	Atividade 2: Relatório dos cálculos dos comprimentos de onda da luz vermelha, verde e azul	160
A.6.8	Aula 8: Espectro da radiação (AVA)	161
A.6.8.1	Atividade 1: Espectro da radiação do corpo negro	162
A.6.8.2	Atividade 2: Simulação sobre radiação do corpo negro (PhET)	162
A.6.8.3	Atividade 3: Irradiação da Terra	163

A.6.8.4	Atividade 4: Questões de múltipla escolha sobre a energia da radiação	163
A.6.9	Aula 9: Jogo de quiz sobre radiação solar	164
A.6.9.1	Atividade 1: Quiz sobre radiação solar	165
A.6.10	Aula 10: Energia fotovoltaica e heliotérmica (AVA)	165
A.6.10.1	Atividade 1: Painel solar fotovoltaico	166
A.6.10.2	Atividade 2: Questões de múltipla escolha sobre painéis solares fotovoltaicos	166
A.6.10.3	Atividade 3: Texto sobre alguns marcos históricos da energia solar	167
A.6.10.4	Atividade 4: Questão dissertativa sobre semicondutores	167
A.6.11	Aula 11: Demonstrações e experimentos com módulos fotovoltaicos	168
A.6.11.1	Atividade 1: Demonstração com módulos fotovoltaicos	168
A.6.11.2	Atividade 2: Experimento de associação de módulos fotovoltaicos	169
A.6.11.3	Atividade 3: Relatório das demonstrações e atividades experimentais	170
A.6.12	Aula 12: Células e módulos fotovoltaicos (AVA)	171
A.6.12.1	Atividade 1: Dopagem de semicondutores e o efeito fotovoltaico	172
A.6.12.2	Atividade 2: Condutividade elétrica dos materiais e teoria de bandas	172
A.6.12.3	Atividade 3: Questões de múltipla escolha sobre células fotovoltaicas	172
A.6.12.4	Atividade 4: Fabricação de módulos fotovoltaicos	173
A.6.13	Aula 13: Jogo de quiz sobre células e módulos fotovoltaicos	173
A.6.13.1	Atividade 1: Quiz sobre células e módulos fotovoltaicos	174
A.6.14	Aula 14: Aula final	175
A.6.14.1	Atividade 1: Levantamento de conhecimentos pós-instrução	175
A.6.15	Avaliações	175
A.7	Considerações Finais	176
A.8	Referências e Sugestões de Leitura	177

A.1 Introdução

Esse material instrucional trata de assuntos de Física relacionados ao estudo da energia solar, abordando desde a produção dessa energia no Sol, sua propagação pelo espaço e atmosfera da Terra, até sua captação e conversão em energia elétrica. Foi elaborada uma proposta didática com o objetivo do(a) estudante compreender conceitos físicos importantes para sua formação científica. A base conceitual da proposta está dividida em três eixos de estudo, sendo o primeiro, a produção da energia no Sol devido à fusão nuclear, o segundo eixo, a propagação dessa energia pelo espaço até atingir a superfície do planeta Terra, e no terceiro eixo, a captação dessa energia através de células fotovoltaicas. Logo, espera-se com esse material que os estudantes desenvolvam seus conhecimentos e suas habilidades em inter-relacionar tópicos diversos do tema Energia Solar, desde onde vem essa energia até como podemos utilizá-la.

Atravessa-se uma época de transformações importantes no Ensino Médio oriundas da BNCC e dos itinerários formativos que ainda estão sendo organizados por meio da oferta de diferentes arranjos curriculares e a conseqüente construção de currículos flexíveis, que permitam itinerários formativos diversificados aos alunos. Segundo Parecer CNE/CP nº 11/2009, incluído no texto da BNCC, o novo Ensino Médio “não exclui necessariamente as disciplinas, com suas especificidades e saberes próprios historicamente construídos, mas, sim, implica o fortalecimento das relações entre elas e a sua contextualização [...]” (BRASIL, 2018, p.470).

Essa proposta atende a competência específica 1 da BNCC, que estabelece que devem ser analisados “fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia [...]” (BRASIL, 2018, p.554) e que nesse tema devem ser mobilizados estudos referentes a, entre outros: estrutura da matéria, princípios da conservação da energia, fusão e fissão nucleares, espectro eletromagnético e o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias de obtenção de energia elétrica.

Assim, além de conceitos físicos básicos, a proposta aborda o relevante aspecto da conversão da energia solar em energia elétrica, uma questão energética atual numa época em que se busca cada hora mais fontes de energia renováveis capazes de suprir a crescente demanda energética mundial e substituir nossa atual dependência pelos combustíveis fósseis. A energia solar ganha então nesse cenário notória relevância como uma das promissoras fonte energéticas para os próximos anos, fazendo com que cientistas em seus centros de pesquisa venham continuamente trabalhando na busca e no desenvolvimento de tecnologias comercialmente viáveis que permitam obter alta eficiência na captação e utilização da energia da luz proveniente do Sol, ou até mesmo em um cenário mais desafiador, o desenvolvimento de equipamentos capazes de gerar energia da forma como essa é gerada no Sol.

Por possuir uma área territorial gigantesca de mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados (IBGE, 2012), com incidência de luz solar o ano inteiro, o Brasil encontra-se numa situação privilegiada para a captação dessa energia luminosa proveniente da nossa estrela, despertando assim interesse para grandes investimentos no setor. Há uma projeção de investimentos de bilhões de reais nos próximos anos, associada a geração de milhares de empregos no país, a fim de realizar a instalação de usinas solares e sistemas de captação de energia solar de pequeno e médio porte em residenciais, comércios, indústria e em propriedades rurais (ABSOLAR, 2019).

Nesse cenário promissor, torna-se importante entender o que realmente é e como podemos utilizar a energia solar. Para isso, esse produto educacional foi elaborado para que o(a) estudante obtenha de forma completa os conhecimentos fundamentais sobre essa fonte de energia, subsidiando o desenvolvimento de seu pensamento crítico e o pleno exercício de sua cidadania junto a sociedade.

A proposta contempla a utilização de um Ambiente Virtual de Aprendizagem, práticas demonstrativas, experimentos e jogos pelo(a) professor(a) em sala de aula, por meio da Sequência Didática descrita na seção A.6. É utilizada uma metodologia moderna, atrativa e engajadora, na qual o(a) professor(a) terá a sua disposição um produto educacional organizado para pronta implementação e utilização.

A seguir, na seção A.2, são apresentados os conteúdos de Física a serem trabalhados junto aos estudantes com este produto educacional. Em seguida, na seção A.3, está descrito com mais detalhes como os conteúdos de Física citados são apresentados aos estudantes em um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA). Na seção A.4 e na seção A.5, são descritos os experimentos, demonstrações e os jogos de quiz do material. Já na seção A.6, esta disponibilizada a sequência didática com diversos links e QR Codes para o(a) professor(a) ter sempre à mão rapidamente todo o material a ser utilizado com os estudantes. Finalmente, na seção A.7 estão descritas algumas considerações finais, descrevendo como essa sequência didática foi aplicada pela primeira vez e a avaliação dessa aplicação junto a algumas turmas de ensino médio, e por fim, na seção A.8, serão encontradas algumas referências utilizadas no produto educacional e sugestão de leitura sobre assuntos relacionados ao tema *Energia Solar*.

A.2 Física

Nesse produto educacional serão abordados os seguintes assuntos relacionados a Energia Solar:

- Princípios básicos da reação de fusão nuclear;
- Diferença entre fusão e fissão nuclear;

- Reações da cadeia próton-próton;
- Transformação de massa em energia;
- Relação entre unidades de massa atômica; (u) e unidades de massa (kg);
- Espectro eletromagnético;
- Energia dos fótons;
- Conversão de unidades de energia (eV e J);
- Comprimento de onda associado a um fóton;
- Radiação do corpo negro;
- Princípio da conservação da energia da radiação;
- Principais gases da atmosfera terrestre e suas interações com a radiação solar;
- Radiação refletida, difusa e direta;
- Relação entre a latitude e a intensidade da radiação na superfície do planeta;
- Células e módulos fotovoltaicos;
- Associação em paralelo e em série de células e módulos fotovoltaicos;
- Alguns marcos históricos da utilização da energia solar heliotérmica;
- Condutividade elétrica de metais; isolantes e semicondutores;
- Dopagem de semicondutores;
- Junção p-n;
- Teoria de bandas;
- Efeito fotovoltaico.

Veja na seção [A.6](#) em quais aulas cada um desses assuntos será trabalhado com os estudantes.

A.3 Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)

O Ambiente Virtual de Aprendizagem contém todo o material teórico abordado no curso, podendo, a critério do(a) professor(a), essa teoria ser disponibilizada para os estudantes presencialmente na escola ou a distância previamente as aulas presenciais, para só depois esses estudantes se encontrarem com o professor em sala de aula para a realização das outras atividades.

A.3.1 AVA: Fusão e fissão nuclear

A teoria abordada neste trabalho, começa introduzindo os estudantes ao conceito do que é uma reação de fusão nuclear, tendo como objetivo fazer com que estes saibam diferenciar esse tipo de reação da reação de fissão nuclear, e os façam entender quais as condições necessárias para a mesma ocorrer.

Iniciando os estudos, os estudantes assistem um vídeo que aborda as diferenças entre essas duas reações nucleares, possibilitando assim um entendimento básico de como a fusão nuclear ocorre e esclarecendo para estes estudantes que a produção comercial de energia através da reação de fusão nuclear ainda não ocorre em nosso planeta.



Fusão e Fissão Nuclear

Introdução Para praticar Atualidades Para refletir

Iniciaremos nesta aula o estudo da Energia Solar, trazendo para você conceitos básicos de como ocorre a produção de energia no Sol e uma reportagem que descreve parte dos trabalhos que vem sendo realizados visando construir um equipamento que um dia possa produzir energia semelhante a forma como essa é produzida na nossa estrela. Para começar, assista ao vídeo *Fusão Nuclear x Fissão Nuclear* para entender a diferença entre essas duas reações, além do motivo pelo qual não existem ainda usinas de fusão nuclear construída na Terra.

Fusão Nuclear x Fissão Nucl... Assistir mais tarde Compartilhar

Figura 83 – Introdução da primeira aula usando o AVA

Fonte:

<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-e-fissao-nuclear/ai-introducao>

Os estudantes seguem na aula respondendo algumas questões para praticar os assuntos tratadas no vídeo, e depois, realizam a leitura de um texto de divulgação científica publicado pela FAPESP, falando sobre o trabalho de um cientista brasileiro relacionado a um dos projetos mais ambiciosos já desenvolvidos no mundo até hoje, a construção do reator de fusão nuclear ITER. Espera-se com isso, que os estudantes adquiram a percepção de que este é um tema moderno e que existe um vasto campo de pesquisa para estes trabalhos, o qual deverá receber muitos jovens cientistas nos próximos anos.

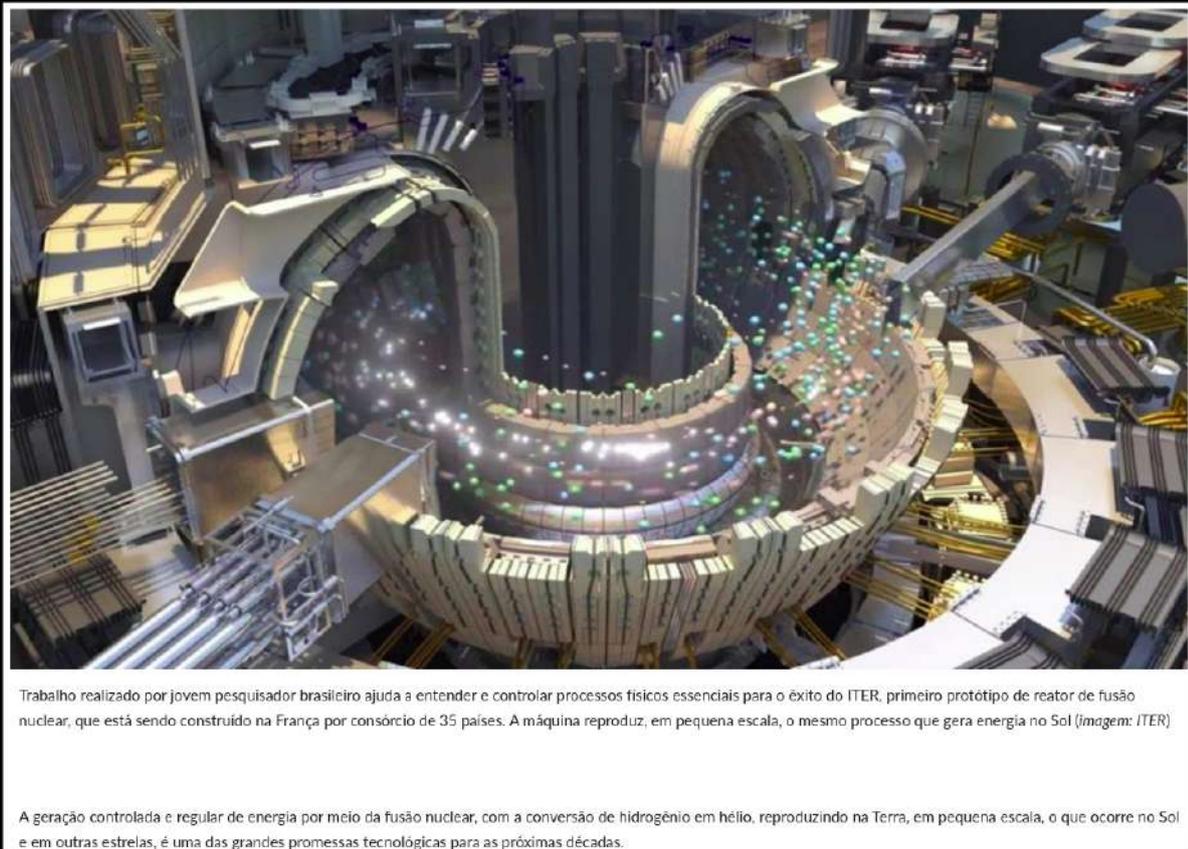


Figura 84 – Texto de divulgação científica na primeira aula usando o AVA

Fonte:

<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-e-fissao-nuclear/ai-Atualidades>

No final desta primeira aula usando o AVA, os estudantes são solicitados a refletir sobre o que leva uma pequena quantidade de matéria a liberar quantidades de energia tão grandes em uma reação nuclear. A ideia dessa reflexão é despertar nos estudantes a curiosidade sobre o assunto da próxima aula usando o AVA, a qual irá introduzir os conceitos de equivalência entre energia e massa.

Veja mais detalhes dessa aula na seção [A.6.2](#) da sequência didática.

A.3.2 AVA: Fusão nuclear no Sol

Após a introdução dada na aula anterior, chegamos a aula que aborda com mais detalhes como ocorrem as reações de fusão nuclear no Sol, produzindo núcleos de hélio a partir de núcleos de hidrogênio. O objetivo desta aula é fazer com que os estudantes aprendam a calcular a energia liberada em uma dessas reações. Para isso, os estudantes assistem inicialmente a um vídeo que explica a cadeia próton-próton das reações que ocorrem nesse processo.

Figura 85 – Introdução da segunda aula usando o AVA

Fonte:

<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-nuclear-no-sol/aii-introducao>

Feito isso, os estudantes seguem com a leitura de um material que explica como são feitos os cálculos para se obter o valor da energia liberada em uma reação de fusão nuclear. É dado como exemplo aos estudantes, o cálculo da energia liberada na formação de um núcleo de hélio a partir dos quatro núcleos de hidrogênio que ficam na reação.

Figura 86 – Material explicativo da segunda aula usando o AVA

Fonte: <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-nuclear-no-sol/aii-desenvolvimento>

Os estudantes seguem então com algumas questões para praticar o que foi ensinado até aqui, e finalizam a aula respondendo uma pergunta que os façam refletir sobre os diferentes tipos de radiação emitidas pelo Sol, como por exemplo o calor, a luz ou mesmo

a radiação ultravioleta, despertando assim a curiosidade nos estudantes sobre o assunto que será tratado com mais detalhes na próxima aula usando o AVA.

Veja mais detalhes dessa aula na seção A.6.4 da sequência didática.

A.3.3 AVA: Energia da radiação

Após os estudantes trabalharem o tema da fusão nuclear, o curso segue com o estudo da energia da radiação emitida pelo Sol, iniciando com esses estudantes assistindo a um vídeo que, a partir de um enfoque na natureza da luz, introduz a ideia de fóton, espectro eletromagnético e da relação entre cada uma de suas faixas com os diferentes comprimentos de onda relacionados.



Figura 87 – Introdução da terceira aula usando o AVA

Fonte:

<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-da-radiacao/aiai-introducao>

Depois, os estudantes prosseguem com a leitura de um material que explica como calcular a energia de um fóton de determinada radiação a partir do comprimento de onda relacionado a esta. O objetivo é fazer com que esses estudantes entendam que se trata de uma radiação eletromagnética que se propaga pelo espaço como radiação, mas também como fótons, com uma energia *quantizada*, que pode ser calculada a partir do comprimento de onda dessa radiação e duas constantes, sendo essas a velocidade da luz no vácuo e a constante de Planck.

Finalizando a abordagem teórica dessa aula, será explicado aos estudantes como converter a energia entre as unidades de medida *Joule* e *elétron – volt*.

Os estudantes seguem então com algumas questões para praticar o que foi tratado nesta aula, e finalizam respondendo uma pergunta que os façam refletir sobre o que faz com que vejamos aqui da Terra o Sol amarelo, ou muitas vezes avermelhado, despertando a curiosidade nestes sobre o assunto que será tratado com mais detalhes na próxima aula usando o AVA.

	<p>Q3.2) Assinale a alternativa incorreta: * 1 ponto</p> <p><input type="radio"/> Ondas de rádio são menos energéticas que a luz visível.</p> <p><input type="radio"/> A radiação gama é mais energética que a radiação ultravioleta.</p> <p><input type="radio"/> A luz visível emitida pelo Sol é composta de todas as cores que existem no arco-íris.</p> <p><input type="radio"/> Quando recebemos radiação infravermelha nosso corpo se aquece.</p> <p><input type="radio"/> O espectro eletromagnético, como todo o espectro, é algo sobrenatural que não somos capazes de explicar.</p>	
	<p>Q3.3) Qual a energia expressa em elétron-volt de $3,84 \times 10^{-18} \text{ J}$? (Note: $3,84 \times 10^{-18}$ equivale a três vírgula oitenta e quatro vezes dez elevado a menos dezoito) * 1 ponto</p> <p><input type="radio"/> 18 eV</p> <p><input type="radio"/> 20 eV</p> <p><input type="radio"/> 22 eV</p> <p><input type="radio"/> 24 eV</p> <p><input type="radio"/> 26 eV</p>	

Figura 88 – Questões para praticar da terceira aula usando o AVA

Fonte:

<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-da-radiacao/aiii-praticar>

Veja mais detalhes dessa aula na seção [A.6.6](#) da sequência didática.

A.3.4 AVA: Espectro da radiação

Nessa aula, é introduzido aos estudantes o conceito de como é a radiação emitida por um corpo negro, associando a nossa estrela a esse tipo de corpo, além de explicar porque percebemos essa radiação diferente da originalmente emitida pelo Sol, devido as interações sofridas por essa radiação no seu caminho antes de chegar aos nossos olhos. Para isso, os estudantes assistem inicialmente a um vídeo que introduz o conceito de como é este espectro de radiação e como esse varia com a temperatura do corpo negro.

Espectro da Radiação

Introdução Para simular Desenvolvimento Para praticar

Agora que você já conhece o espectro da radiação eletromagnética, é hora de você saber qual a intensidade desta radiação emitida pelo Sol para cada frequência, ou comprimento de onda, e quando dessa radiação chega na superfície da Terra. Para isso, assista inicialmente ao vídeo *Espectro da radiação do corpo negro*, elaborado a partir de um trecho do vídeo *Quantum Mechanics (Chapter 1b of 6)* publicado por *Casslopeia Project*.

Espectro da radiação do corp... Assistir mais tarde Compartilhar

do corpo negro

Figura 89 – Introdução da quarta aula usando o AVA

Fonte:

<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/espectro-da-radiacao/aiv-introducao>

Após isso, os estudantes acessam no site do PhET um simulador sobre radiação do corpo negro, utilizando um roteiro que tem como objetivo conduzi-los a entender a dependência da intensidade da radiação emitida por esse corpo com sua temperatura, além de explorar como a intensidade dessa radiação varia para cada comprimento de onda emitido pelo corpo negro.

Espectro da Radiação

Introdução Para simular Desenvolvimento Para praticar

Para simular:

Agora é hora de interagirmos com um simulador para entender melhor como é o espectro da radiação emitido pelo Sol, ou por um outro corpo negro qualquer. Para isso, utilizaremos o simulador *Espectro de Corpo Negro*, disponível no site do *PhET*. Você pode abrir o simulador clicando na figura ou aqui.

Depois de abrir o simulador siga os passos do roteiro a seguir para realizar a atividade.

Espectro de Corpo Negro

Temperatura de Corpo Negro: 4073 K

Situações: Sol, Terra, Lâmpada

Simulador 1: Espectro da radiação do corpo negro

Figura 90 – Simulador na quarta aula usando o AVA

Fonte:

<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/espectro-da-radiacao/aiv-simular>

Os estudantes seguem então com um material de leitura que tem como objetivo explicar como ocorre a atenuação da intensidade da radiação em seu percurso do Sol até a superfície terrestre. São explicadas as interações da radiação solar com a atmosfera da Terra, assuntos como o que é radiação direta e difusa, a relação entre o ângulo de incidência da radiação na atmosfera e sua intensidade na superfície do planeta, além de como isso influencia na cor do céu e do Sol que visualizamos aqui da Terra.

Para finalizar essa aula, os estudantes respondem algumas questões para praticar o que foi visto na mesma.

Veja mais detalhes dessa aula na seção A.6.8 da sequência didática.

A.3.5 AVA: Energia fotovoltaica e heliotérmica

No material dessa aula, os estudantes acessam um conteúdo que explica como ocorre a captação e utilização da energia solar aqui na Terra. São abordados os conceitos básicos do que são células e módulos fotovoltaicos, como esses elementos geram eletricidade e qual a finalidade da associação em série e paralelo desses elementos. O material explora também alguns marcos históricos sobre como vem sendo utilizada a energia solar pelo ser humano através de processos térmicos até os dias de hoje.

Inicialmente, os estudantes assistem a um vídeo que introduz a ideia do que é o efeito fotovoltaico, o que é uma associação de células solares, qual a eficiência dessas células e qual a viabilidade da utilização da energia solar como fonte energética.



Figura 91 – Introdução da quinta aula usando o AVA

Fonte: <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-fotovoltaica-e-heliotermica/av-introducao>

Após essa introdução, os estudantes seguem a aula respondendo algumas questões que abordam o que foi visto no vídeo, além de conduzi-los à explorar com mais detalhes os conceitos fundamentais de como, e para que, são realizadas as associações em série e em paralelo de células ou módulos fotovoltaicos.

O material segue então descrevendo alguns marcos históricos da utilização da energia solar (heliotérmica) para que os estudantes obtenham uma visão mais ampla sobre a utilização dessa energia.

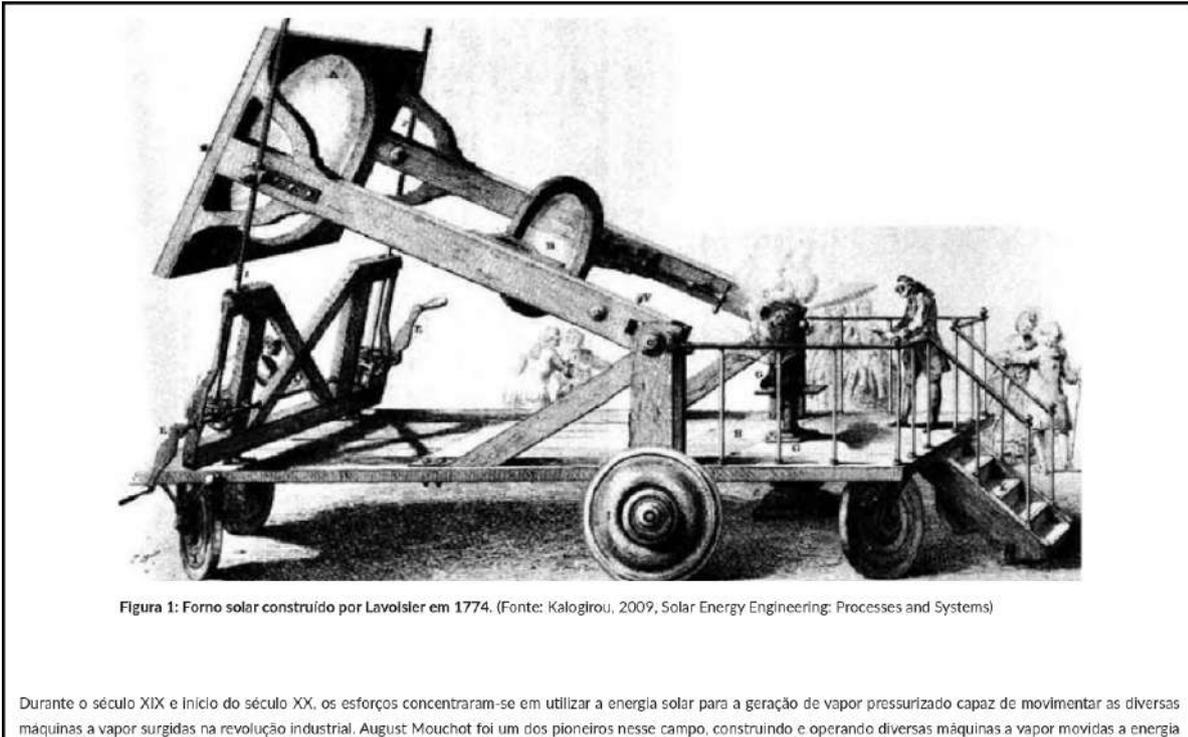


Figura 92 – Marcos históricos da energia heliotérmica na quinta aula usando o AVA

Fonte: <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-fotovoltaica-e-heliotermica/av-historia>

Na última parte dessa aula usando o AVA, os estudantes seguem respondendo uma questão que os façam refletir sobre a importância dos semicondutores para os tempos atuais, visando com isso despertar a curiosidade nestes estudantes sobre o assunto que será tratado com mais detalhes na próxima aula usando o AVA, quando a célula fotovoltaica for analisada em escala atômica.

Veja mais detalhes dessa aula na seção [A.6.10](#) da sequência didática.

A.3.6 AVA: Células e módulos fotovoltaicos

Após os estudantes terem tido o primeiro contato com o que são células e módulos fotovoltaico, é chegada a hora deles entenderem com mais detalhes como são essas células e como ocorre o efeito fotovoltaico. Para isso, os estudantes iniciam esta aula assistindo

um vídeo que explica como são as duas camadas de material semiconductor que formam as células fotovoltaicas, camada tipo-P e camada tipo-N, e por fim, é explicado neste vídeo a junção P-N entre essas camadas.



Figura 93 – Introdução da sexta aula usando o AVA

Fonte: <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/celulas-e-modulos-fotovoltaicos/avi-introducao>

Já em um segundo vídeo, os estudantes visualizam com mais detalhes os processos de dopagem do silício com fósforo e boro. O vídeo explica também que é possível fazer com que o silício puro se comporte como um bom condutor de eletricidade se houver o fornecimento de energia para o material, fazendo com que elétrons deste subam da banda de valência para a banda de condução do mesmo.

Após os estudantes serem iniciados na aula com esses dois vídeos, eles prosseguem com um material de leitura que explica como poderia ser uma das formas do silício receber essa energia para melhorar sua condutividade elétrica. Nessa parte, o material explica como cada tipo de material tem sua condutividade elétrica alterada em função de sua temperatura.

O material de leitura segue apresentando um modelo que explora o que há de diferente entre os condutores, isolantes e semicondutores, sob uma perspectiva em escala atômica. A ideia é fazer com que os estudantes visualizem nesse modelo a relação entre os tipos de materiais e a existência de elétrons livres nos mesmos.

Dando sequência, são apresentados para os estudantes os conceitos básicos do modelo de bandas de energia, explicando a relação entre a localização dos elétrons nessas

bandas e a condução de eletricidade para cada um dos três tipos de materiais. Feito isso, chega-se ao objetivo principal dessa parte da aula, apresentando-se para os estudantes como esses materiais semicondutores poderiam receber energia para que elétrons da banda de valência subam para a banda de condução, sem que haja aquecimento do material, ou seja, através do efeito fotovoltaico.

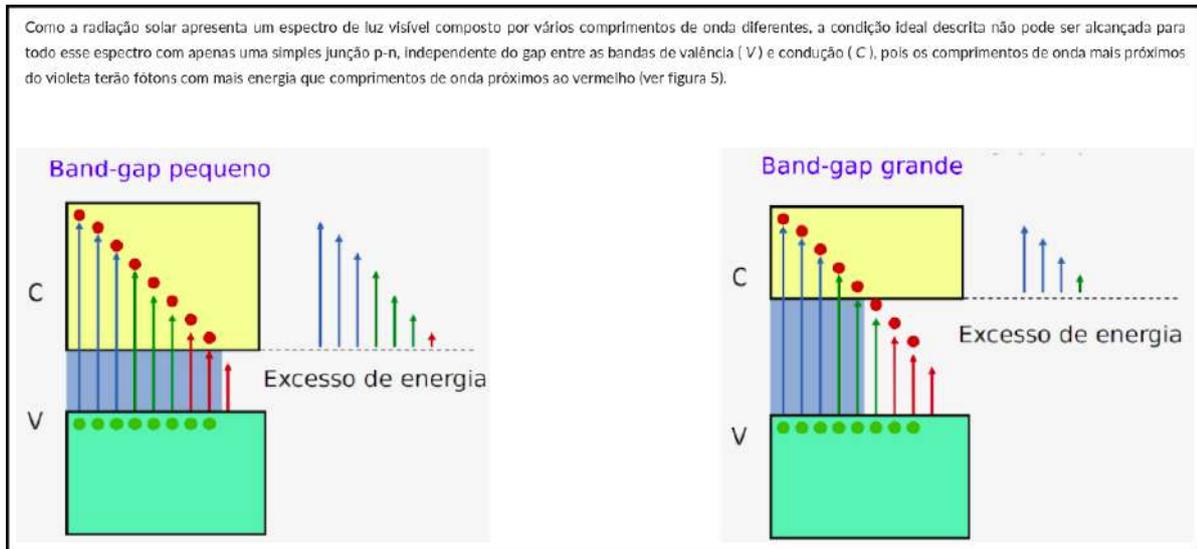


Figura 94 – Material explicativo da sexta aula usando o AVA

Fonte: <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/celulas-e-modulos-fotovoltaicos/avi-desenvolvimento>

O material explora um pouco mais esse assunto, e segue depois com algumas questões para os estudantes praticarem o que foi ensinado nesta parte da aula.

Finalizando a última aula do AVA, é apresentado para os estudantes um vídeo que mostra como ocorrem os processos de fabricação de módulos fotovoltaicos.

Veja mais detalhes dessa aula na seção [A.6.12](#) da sequência didática.

A.4 Demonstrações e Experimentos

A seguir, estão disponibilizadas para o(a) professor(a) algumas explicações sobre as demonstrações e experimentos do produto educacional desse material.

A.4.1 Demonstração da redução de massa na fusão nuclear

Essa demonstração tem como objetivo fazer com que os estudantes descubram que ocorre redução de massa nas reação de fusão nuclear que acontece no Sol. Para isso, o(a) professor(a) utilizará modelos de núcleos atômicos feitos com bolinhas de isopor com suas massas calibradas.

A demonstração das fusões nucleares consiste em comparar etapa a etapa as massas dos modelos dos núcleos atômicos antes e depois de cada reação.

O(A) professor(a) precisará de uma balança para realizar a atividade, a fim de comparar as massas dos modelos dos núcleos antes e depois de cada reação. Como a necessidade da balança é apenas para comparar as massas dos modelos de núcleos atômicos, não se deve verificar a massa de cada modelo em uma balança individual, pois isso não faria sentido e poderia desviar a atenção dos estudantes dos objetivos da demonstração.



Figura 95 – Demonstrações sobre fusão nuclear

Fonte: Primeira aplicação do produto educacional

Procedimento para confeccionar os modelos de núcleos atômicos e uma balança de baixo custo:

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para o material explicativo de como confeccionar os modelos de núcleos atômicos com bolinhas de isopor com suas massas calibradas e uma balança de baixo custo para ser utilizada nessa atividade:



https://drive.google.com/file/d/1hiy3oIvUvzR_6jAAlymSNYYU8sSjiqJS/view?usp=sharing

Veja mais detalhes dessa aula na seção A.6.3 da sequência didática.

A.4.2 Experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores vermelha, verde e azul

Nesse experimento, os estudantes irão determinar os comprimentos de onda de três cores de luz (vermelha, verde e azul).

Os estudantes realizam na atividade a montagem de um circuito para medição da tensão elétrica de funcionamento de três cores de LED, para depois, calcularem o comprimento de onda relacionado a cada uma dessas cores utilizadas no experimento.

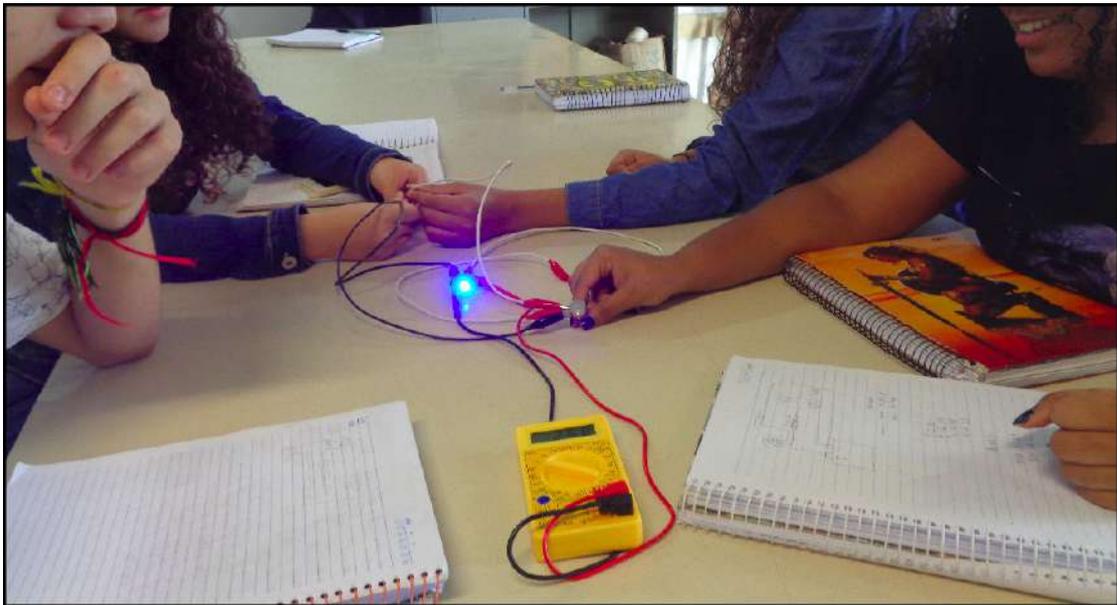


Figura 96 – Experimento para descobrir os comprimentos de onda das cores

Fonte: Primeira aplicação do produto educacional

Veja mais detalhes dessa aula na seção [A.6.7](#) da sequência didática.

A.4.3 Demonstrações e experimentos sobre a captação da energia da luz

Essas demonstrações e experimentos possibilitam que os estudantes tenham contato físico com células e módulos fotovoltaicos e assim, possam ver esses equipamentos sendo utilizados para transformar luz em eletricidade através da alimentação de equipamentos eletroeletrônicos com a energia elétrica gerada nesse processo.

Os estudantes realizam também atividades práticas de associações de módulos fotovoltaicos, montando circuitos e fazendo medições de tensão e corrente elétrica gerada pelos módulos expostos a luz



Figura 97 – Experimento de associações de módulos fotovoltaicos

Fonte: Primeira aplicação do produto educacional

Veja mais detalhes dessa aula na seção [A.6.11](#) da sequência didática.

A.5 Jogos de quiz

Esse produto educacional contempla a realização dos seguintes jogos de quiz pelos estudantes:

- Fusão nuclear no Sol

Veja os detalhes específicos da aula para realização desse quiz na seção [A.6.5](#) da sequência didática.

- Radiação solar

Veja os detalhes específicos da aula para realização desse quiz na seção [A.6.9](#) da sequência didática.

- Células e módulos fotovoltaicos

Veja os detalhes específicos da aula para realização desse quiz na seção [A.6.13](#) da sequência didática.



Figura 98 – Jogo de quiz sobre Fusão Nuclear

Fonte: <https://play.kahoot.it/v2/?quizId=bf9cea75-130f-432f-bf73-168083924e65>

A seguir, estão disponibilizadas para o(a) professor(a) algumas explicações gerais sobre os jogos de quiz do produto educacional desse material.

Descrição:

Para iniciar cada jogo de quiz, é recomendado que os estudantes se organizem em times de até 5 integrantes, porém, a critério do(a) professor(a), a quantidade de integrantes por time pode ser menor ou maior. Cada time de estudantes precisará utilizar um computador, tablet ou celular com acesso a internet para jogar.

Em paralelo a essa organização inicial, o(a) professor(a) precisará abrir a página do Kahoot informada no início de cada aula e então selecionar *classic* ou *clássico* para ir para a página do jogo onde os estudantes irão preencher o nome dos seus times para jogar.

A partir deste momento, a tela do computador utilizado pelo(a) professor(a) deverá ser projetada para que todos os estudantes possam vê-la. Informe os estudantes para que o integrante do grupo que esta comandando o computador, tablet ou celular acesse no navegador do dispositivo a página <https://kahoot.it/>, depois digite o número do *game PIN* ou *PIN do jogo* que estará aparecendo na projeção e por último digite o *Nickname* ou *Apelido* escolhido para o time.

Após todos os times terem realizado esse procedimento, o(a) professor(a) precisará dar um click em *Start* ou *Começar* para iniciar o jogo e por fim, basta ir avançando nas telas do jogo após os estudantes responderem cada pergunta.

É interessante que durante a realização do jogo, o(a) professor(a) aproveite os

momentos oportunos, normalmente após a euforia da revelação da resposta correta de cada pergunta, para explicar algum conceito que perceba importante para o conteúdo da pergunta feita.

Avaliação:

Nessa atividade, os grupos de estudantes serão avaliados pela quantidade de acertos das respostas do jogo de quiz. Para ter acesso a planilha com essas informações, após o término do jogo, mas ainda nas telas de comando deste jogo no Kahoot, o(a) professor(a) deverá selecionar a opção *Save Results* ou *Salvar Resultados* e depois poderá escolher *Direct Download* ou *Download Direto* para baixar a planilha ou se preferir, *Save to Drive* ou *Salvar no Drive* para salvar a planilha na sua conta do *Google Drive*.

Caso o(a) professor(a) esteja logado(a) no site do Kahoot com sua conta pessoal, poderá também deixar para baixar essa planilha quando quiser no futuro.

A.6 Sequência Didática

O produto educacional aqui descrito, *Ensinando Energia Solar com Ambiente Virtual de Aprendizagem, Demonstrações, Experimentos e Jogos*, está organizado em uma sequência didática que é apresentada nesta seção buscando clareza e objetividade para sua utilização, estando descrito em cada uma das aulas os seus objetivos específicos, conteúdos abordados, atividades e avaliações com os seus respectivos tempos planejados de aplicação, além dos recursos necessários para sua implementação.

Todo o material a ser disponibilizado aos estudantes para o aprendizado dos conteúdos abordados, foi elaborado para ter um fácil acesso online através de um computador, tablet ou celular, com exceção dos mapas conceituais para levantamento de conhecimentos prévios e pós-instrução dos estudantes, os quais, o(a) professor(a) poderá optar por aplicá-los sem a utilização de qualquer um dos dispositivos tecnológicos citados. Na página do índice de aulas⁷ no AVA, está disponibilizada a sequência das aulas e atividades online que serão percorridas pelos estudantes durante seus estudos, além de todos os links de acesso necessários ao material.

Para facilitar ainda mais a utilização desse produto pelo(a) professor(a), o acesso a todo o material online pode também ser realizado através dos links e QR codes disponibilizados nesta seção A.6, com exceção das planilhas com as respostas dadas pelos estudantes aos questionários e relatórios, para as quais foram disponibilizados apenas os links, pois, embora não seja inviável, mostra-se pouco prática a utilização dessas planilhas por um tablet ou celular.

Embora não seja necessário, pois os estudantes podem acessar todo o material on-

⁷ <https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas>

line pela página do índice de aulas no AVA, o(a) professor(a) poderá também compartilhar os QR codes com os estudantes de sua(s) turma(s) que utilizem tablets ou celulares, a fim de possibilitar a estes estudantes um acesso direto a qualquer uma das aulas no AVA, roteiros ou relatórios, ou mesmo se preferir, compartilhar com esses estudantes os links para que eles realizarem esses acessos diretos por computadores.

Caracterização dos Estudantes:

Durante a elaboração dessa sequência didática, foi tomado o cuidado de utilizar uma linguagem de fácil compreensão, minimizando sempre que possível a necessidade de pré-requisitos de conhecimento dos estudantes. Contudo, é recomendado que essa sequência didática seja aplicada junto a estudantes que saibam operar números escritos em notação científica, podendo também ocorrer a necessidade do(a) professor(a) esclarecer algum conceito básico de ondulatória ou eletricidade durante a aplicação do material. Logo, o público alvo são os estudantes do **último ano do Ensino Médio**.

Caracterização da Unidade Escolar:

Para realização de parte das atividades dessa sequência didática, é necessário que os estudantes possam utilizar um dispositivo com acesso a internet (**Computador, tablet ou celular**) em sua escola. Em que, dentre as três possibilidades apresentadas, o computador mostra-se como mais recomendada, por possuir uma tela maior e facilitar uma melhor interação entre o(a) estudante e professor(a) durante esclarecimentos de dúvidas, ou mesmo entre os próprios estudantes, durante a realização de atividades em grupos. Outro recurso necessário na escola, é uma **sala com recursos áudio-visuais**, onde haja a disposição um computador conectado à internet e interligado a uma TV com tela grande ou um projetor mais sistema de som.

Reduzindo a quantidade de aulas presenciais para aplicação do produto:

Nas próximas subseções serão apresentadas as 14 aulas que foram elaboradas para trabalhar esse produto educacional com os estudantes de forma totalmente presencial, porém, para o(a) professor(a) que possuir turmas nas quais todos os estudantes possam realizar estudos a distância pela internet, todas as aulas teóricas disponibilizadas no AVA (Aula [A.6.2](#), [A.6.4](#), [A.6.6](#), [A.6.8](#), [A.6.10](#) e [A.6.12](#)), com exceção da atividade [A.6.2.3](#), poderão ser realizadas previamente pelos estudantes a distância, sem a necessidade de qualquer modificação, deixando os encontros presenciais com esses estudantes apenas para a realização das discussões, experimentos, demonstrações e jogos. Assim, o(a) professor(a) terminará a aplicação desse produto em menos aulas presenciais, pois os estudantes realizarão as aulas citadas do AVA com antecedência as aulas na escola.

A.6.1 Aula 1: Aula introdutória

Objetivos específicos

- Elaborar um mapa conceitual sobre Energia Solar a partir dos conhecimentos prévios dos estudantes;
- Apresentar aos estudantes os conteúdos a serem trabalhados nesse curso.

Conteúdos

Não aplicável

A.6.1.1 Atividade 1: Levantamento de conhecimentos prévios

Tempo:

35 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Sala de informática, sala de aula com lousa e giz, quadro branco e marcador ou uma folha grande ou cartolina.

Descrição:

Para levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes das turmas, solicitar aos estudantes que elaborem um mapa conceitual em uma atividade colaborativa com a turma, ou seja, todos os estudantes da turma trabalhando juntos na elaboração de um único mapa sobre o tema Energia Solar. Para isso os estudantes de cada turma podem utilizar um arquivo do *Google Drawing (Desenhos Google)* disponibilizado em uma nuvem para edição, lousa e giz, quadro branco e marcador ou mesmo uma folha grande ou cartolina, conforme preferência do(a) professor(a) ou facilidade para o desenvolvimento da atividade.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pela participação na elaboração do mapa conceitual de conhecimentos prévios.

A.6.1.2 Atividade 2: Apresentação do conteúdo de Física a ser trabalhado no curso

Tempo:

10 minutos

Recursos e material de apoio:

Sala de aula com lousa e giz, quadro branco e marcador ou data-show.

Descrição:

Nessa atividade, o(a) professor(a) apresentará para os estudantes de forma geral os conteúdos de Física que serão abordados no curso, conforme descrito a seguir:

- Diferença entre a fusão nuclear e fissão nuclear;
- Fusão nuclear no Sol e a formação do deutério, hélio 3 e hélio 4;
- Espectro eletromagnético e a energia da radiação;
- Radiação do corpo negro;
- Energia heliotérmica e alguns marcos históricos da utilização da energia solar;
- Células e módulos fotovoltaicos;
- Condutividade elétrica dos materiais;
- Efeito fotovoltaico.

Os conteúdos listados acima estão apresentados com mais detalhes na seção [A.2](#). Antes de realizar essa apresentação desse conteúdo para os estudantes, é importante também o(a) professor(a) navegar pelo AVA a fim de conhecer com mais detalhes o material teórico do curso que será trabalhado. Para isso, utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para o índice das aulas do AVA.



<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas>

A.6.2 Aula 2: Fusão e fissão nuclear (AVA)

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da aula na internet:



<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-e-fissao-nuclear/ai-introducao>

Objetivos específicos

- Conhecer os conceitos básicos do que são reações de fusão nuclear;
- Saber diferenciar as reações de fusão nuclear das reações de fissão nuclear;
- Conhecer um pouco sobre os trabalhos que vem sendo desenvolvidos para construção de um reator de fusão nuclear.

Conteúdos

- Princípios básicos da reação de fusão nuclear;
- Diferença entre fusão e fissão nuclear;

A.6.2.1 Atividade 1: Conhecendo a fusão nuclear

Tempo:

5 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes assistem um vídeo sobre os princípios básicos das reações de fusão nuclear e sobre sua diferenciação das reações de fissão nuclear.

A.6.2.2 Atividade 2: Questões de múltipla escolha sobre as reações de fusão e fissão nuclear

Tempo:

10 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes respondem a questões de múltipla escolha visando praticar os conceitos estudados nesta aula. Após terminar de responder o questionário, o(a) estudante pode visualizar seus acertos e erros, refletir sobre as respostas corretas e tentar responder novamente caso desejem.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pela quantidade de acertos nas respostas das questões de múltipla escolha. Para acessar essas informações, o(a) professor(a) utilizará a planilha que contém as respostas dadas pelos estudantes através do link a seguir:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/13erhC4EyY3_yYqDlXwXKemENrhgYKCWD4Hda_1FTto5w/edit?usp=sharing

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para alterá-la conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.2.3 Atividade 3: Texto sobre o reator de fusão nuclear ITER**Tempo:**

25 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Nessa atividade, o(a) professor(a) realiza junto com os estudantes uma leitura da reportagem *Modelo prediz cenários para geração de energia por meio da fusão nuclear* publicada pela FAPESP, fazendo pausas, comentários e discussões com os estudantes durante a leitura, a fim esclarecer possíveis dúvidas relacionadas aos conceitos físicos apresentado no texto ou a fim de debater alguma questão que possa surgir durante essa leitura.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pela participação nas discussões realizadas.

A.6.2.4 Atividade 4: Questão dissertativa sobre reações nucleares

Tempo:

5 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes respondem uma pergunta desencadeadora do assunto a ser estudado na próxima aula do AVA (transformação de massa em energia), respondendo segundo seus conhecimentos prévios o que faz as reações nucleares liberarem uma quantidade de energia tão grande para uma quantidade de matéria tão pequena, quando comparadas com outras fontes de energia.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pelas suas produções escritas para responder a questão dissertativa da atividade. Para acessar a planilha dessas respostas, o(a) professor(a) utilizará o link a seguir:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1R1bvacMSAjTk8eWo8VOfakAAAntrGQQDNCcYs7caACMs/edit?usp=sharing>

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para altera-lá conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.3 Aula 3: Discussão e demonstrações sobre fusão nuclear

Objetivos específicos

- Aprender a identificar a massa atômica e a quantidade de prótons, nêutrons e elétrons dos elementos químicos na tabela periódica;
- Introduzir a ideia entre o tamanho de uma estrela e o elemento químico mais pesado que ela pode formar;
- Introduzir as reações de fusão nuclear que ocorrem no Sol (cadeia próton-próton);
- Introduzir o conceito de transformação de massa em energia que ocorre nas reações nucleares.

Conteúdos

- Fusão nuclear nas estrelas;
- Introdução as reações da cadeia próton-próton.

A.6.3.1 Atividade 1: Discussão sobre os elementos químicos e como eles se formam

Tempo:

10 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Sala de aula com lousa e giz ou quadro branco e marcador;
- Tabela periódica grande.

Descrição:

Nesta atividade o(a) professor(a) começa realizando uma discussão sobre como identificar a massa atômica e a quantidade de prótons, nêutrons e elétrons dos elementos químicos na tabela periódica. Depois o(a) professor(a) conduz a discussão para a relação entre a massa de uma estrela e os elementos químicos que ela é capaz de formar. Por fim, as reações de fusão nuclear que ocorrem no Sol (cadeia próton-próton) são introduzidas pelo(a) professor(a), porém ainda sem falar da redução de massa dos núcleos atômicos que ocorre nestas reações. A atividade acontece em uma discussão entre o(a) professor(a) e os estudantes visando sempre utilizar o máximo possível de conhecimentos prévios deste estudantes para fundamentação do conhecimento em construção sobre fusão nuclear.

Avaliação:

Nesta atividade, os estudantes serão avaliados pela participação nas discussões realizadas pelos mesmos.

A.6.3.2 Atividade 2: Demonstração das reações de fusão nuclear

Tempo:

10 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Sala de aula com lousa e giz ou quadro branco e marcador;
- Modelos de núcleos atômicos da cadeia próton-próton feitos com bolinhas de isopor com suas massa calibradas *;

- Balança feita com uma régua, sacolas plásticas e arames *.

* Veja na seção A.4.1 como confeccionar os modelos de núcleos atômicos com bolinhas de isopor com massas calibradas e uma balança de baixo custo para realização da atividade.

Descrição:

Nesta atividade o(a) professor(a) realiza comparações de massas dos modelos de núcleos atômicos da cadeia próton-próton antes e depois de cada reação, as quais formam o *deutério*, *hélio 3* e *hélio 4*. Para isso, é utilizada uma balança feita com uma régua, sacolas plásticas e arame. A atividade acontece em uma exposição para os estudantes de uma comparação das massas dos modelos de núcleos atômicos antes e depois de cada reação nuclear, colocando esses modelos em lados opostos da balança para a comparação das suas massas. É interessante o(a) professor(a) questionar sempre os estudantes sobre quais modelos de núcleos atômicos eles acham que terão mais massa, antes de colocá-los na balança. Como a quantidade de bolinhas se mantém constantes antes e depois da demonstração de cada reação, e os estudantes ainda não sabem sobre a redução de massa que ocorre nestas reações, é esperado que estes estudantes achem que as massas se manterão constantes, gerando uma surpresa ao verificarem que sempre ocorre uma redução de massa.

A.6.3.3 Atividade 3: Introdução do conceito de transformação de massa em energia

Tempo:

5 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Sala de aula com lousa e giz ou quadro branco e marcador.

Descrição:

Nesta atividade o(a) professor(a) apresenta para os estudantes o conceito de transformação de massa em energia. Para isso, inicialmente os estudantes são questionados sobre o que acham que pode estar relacionado com a redução de massa verificada nas demonstrações feitas. Após os estudantes reponderem, o(a) professor(a) discute as respostas dadas e termina a atividade apresentando o tema desencadeador da próxima aula, ou seja, a transformação de massa em energia, que pode ser quantificado pela equação $E = m.c^2$.

A.6.3.4 Atividade 4: Relatório sobre a discussão e as demonstrações sobre fusão nuclear

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da internet de preenchimento do relatório:



<https://forms.gle/tXZBiQPk7p4oUW9w5>

Tempo:

20 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes;

Descrição:

O(A) estudante deve abrir a página do relatório através do QR Code ou link informado e preenchê-lo descrevendo o que foi discutido em aula sobre os elementos químicos, como e onde eles se formam. O(A) estudante deverá descrever também a demonstração sobre fusão nuclear no Sol e quais as conclusões finais obtidas após essas demonstrações.

Avaliação:

Nessa atividade, cada estudante será avaliado individualmente no relatório produzido pela sua produção escrita sobre os assuntos tratados em aula. Para acessar essas informações, o(a) professor(a) utilizará a planilha que contém as respostas dadas pelos estudantes através do link a seguir:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1dxZ4rw-d1bs6iFf8fnucbuC6ZdBs7XH1YJojHhEbHG4/edit?usp=sharing>

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para alterá-la conforme desejar. Após abrir essa planilha, as colunas C até F devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e número de chamada do(a) estudante de interesse que preencheu o relatório.

A.6.4 Aula 4: Fusão Nuclear no Sol (AVA)

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da aula na internet:



<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/fusao-nuclear-no-sol/aai-introducao>

Objetivos específicos

- Conhecer com detalhes as reações da cadeia próton-próton;
- Calcular a energia liberada em uma dada reação nuclear;
- Converter unidades de massa a nível atômico.

Conteúdos

- Detalhamento das reações da cadeia próton-próton;
- Transformação de massa em energia;
- Relação entre unidades de massa atômica (u) e unidades de massa (kg).

A.6.4.1 Atividade 1: Conhecendo com detalhes as reações da cadeia próton-próton

Tempo:

5 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes assistem um vídeo e realizam a leitura de um pequeno texto sobre as reações nucleares que ocorrem no Sol (reações da cadeia próton-próton).

A.6.4.2 Atividade 2: A energia liberada nas reações

Tempo:

20 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes realizam a leitura de um texto explicativo sobre transformação de massa em energia e como é realizado o cálculo para descobrir a energia liberada em uma dada reação nuclear.

A.6.4.3 Atividade 3: Questões de múltipla escolha sobre as reações da cadeia próton-próton e transformação de massa em energia**Tempo:**

15 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes respondem a questões de múltipla escolha visando praticar os conceitos estudados nesta aula. Após terminar de responder o questionário, o(a) estudante pode visualizar seus acertos e erros, refletir sobre as respostas corretas e tentar responder novamente caso desejem.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pela quantidade de acertos nas respostas das questões de múltipla escolha. Para acessar essas informações, o(a) professor(a) utilizará a planilha que contém as respostas dadas pelos estudantes através do link a seguir:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Cum34Lvw-76lpJQCCPvFoEBX4KBLZcpkP_XRJRBwN0/edit?usp=sharing

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para alterá-la conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.4.4 Atividade 4: Questão dissertativa sobre radiações**Tempo:**

5 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes respondem uma pergunta desencadeadora do assunto a ser estudado na próxima aula do AVA (energia dos fótons de uma dada radiação), respondendo segundo seus conhecimentos prévios o que acham que existe de semelhante e de diferente entre os diferentes tipos de radiação.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pelas suas produções escritas para responder a questão dissertativa da atividade. Para acessar a planilha dessas respostas, o(a) professor(a) utilizará o link a seguir:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1iR6cmcnUGULD13UaKRijbxBaBXL1-1y711UCar7vvaY/edit?usp=sharing>

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para altera-lá conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.5 Aula 5: Jogo de quiz sobre reações de fusão nuclear

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página de comando do jogo na internet:



<https://play.kahoot.it/v2/?quizId=bf9cea75-130f-432f-bf73-168083924e65>

Objetivos específicos

- Exercitar os conhecimentos adquiridos sobre as reações de fusão nuclear

Conteúdos

- Todo o conteúdo estudado sobre reações nucleares

A.6.5.1 Atividade 1: Quiz sobre reações de fusão nuclear

Tempo:

45 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Sala com recursos áudio-visuais, onde haja a disposição internet e uma TV com tela grande e entrada HDMI ou um projetor mais sistema de som;
- Um computador conectado a TV ou projetor;
- Um computador, tablet ou celular com acesso a internet para cada time de estudantes.

Descrição:

Para descrição de como utilizar a plataforma deste jogo veja a seção [A.5](#).

Avaliação:

Para descrição de como utilizar a plataforma deste jogo como avaliação dos estudantes veja a seção [A.5](#).

A.6.6 Aula 6: Energia da radiação (AVA)

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da aula na internet:



<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-da-radiacao/aiai-introducao>

Objetivos específicos

- Conhecer o espectro eletromagnético;
- Estimar a energia associada a uma dada radiação a partir do seu comprimento de onda;

- Calcular a energia de um fóton de uma dada radiação;
- Aprender que a luz possui uma velocidade que independe da sua fonte;
- Aprender a converter energia entre as unidades de medida elétron-volt (eV) e Joule (J).

Conteúdos

- Espectro eletromagnético;
- Energia dos fótons;
- Unidades de energia (eV e J).

A.6.6.1 Atividade 1: A luz e o espectro eletromagnético

Tempo:

5 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes assistem um vídeo sobre as principais propriedades da luz e de outras radiações do espectro eletromagnético com diferentes comprimentos de onda.

A.6.6.2 Atividade 2: A energia dos fótons de uma dada radiação

Tempo:

20 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes realizam a leitura de um texto explicativo sobre como calcular a energia dos fótons de uma dada radiação em eV e em J .

A.6.6.3 Atividade 3: Questões de múltipla escolha sobre a energia da radiação

Tempo:

15 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes respondem a questões de múltipla escolha visando praticar os conceitos estudados nesta aula. Após terminar de responder o questionário, o(a) estudante pode visualizar seus acertos e erros, refletir sobre as respostas corretas e tentar responder novamente caso desejem.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pela quantidade de acertos nas respostas das questões de múltipla escolha. Para acessar essas informações, o(a) professor(a) utilizará a planilha que contém as respostas dadas pelos estudantes através do link a seguir:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1RiFYxQBvJX7NHwQOPBVzOWBxCGvAC10drm1H0moGP1M/edit?usp=sharing>

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para alterá-la conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.6.4 Atividade 4: Questão dissertativa sobre a cor do Sol**Tempo:**

5 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes respondem uma pergunta desencadeadora de um dos assuntos a serem estudados na próxima aula do AVA (interação da luz do Sol com a atmosfera), respondendo segundo seus conhecimentos prévios porque acham que visualizamos o Sol de diferentes cores aqui na Terra dependendo do horário do dia que o observamos.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pelas suas produções escritas para responder a questão dissertativa da atividade. Para acessar a planilha dessas respostas, o(a) professor(a) utilizará o link a seguir:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1XLR1e6cY9fkPy1sQ0WbGBfid0Z4DLkqhXdygGSig3-E/edit?usp=sharing>

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para alterá-la conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.7 Aula 7: Experimento para determinação dos comprimentos de onda das cores

Objetivos específicos

- Realizar procedimento experimental para levantamento da energia dos fótons das cores vermelha, verde e azul;
- Calcular o comprimento de onda da luz vermelha, verde e azul a partir da energia de seus fótons.
- Comparar valores de comprimentos de onda obtidos através de procedimento experimental com valores teóricos, refletir sobre possíveis diferenças e formular explicações para as mesmas.

Conteúdos

- Energia dos fótons das cores vermelha, verde e azul;
- Comprimento de onda da luz vermelha, verde e azul;

A.6.7.1 Atividade 1: Levantamento da energia dos fótons das cores vermelha, verde e azul

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da internet com o roteiro do experimento a ser realizado pelos estudantes:



<https://drive.google.com/file/d/1d60TefHVvLnCH1N0zg6gFQP3z8mQl7nJ/view?usp=sharing>

Tempo:

20 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Sala com mesa(s) ou bancada(s) para os grupos de estudantes realizarem o experimento;
- Um kit com material experimental para realização desse experimento para cada grupo de estudantes;
- Um roteiro do experimento impresso para cada grupo de estudantes ou computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes acessarem a página do roteiro na web.

Descrição:

Nesta atividade, os grupos de estudantes organizados para realização do procedimento experimental devem inicialmente montar o circuito do experimento e depois seguir os passos do roteiro da atividade para levantamento da tensão dos LEDs das cores vermelha, verde e azul.

A.6.7.2 Atividade 2: Relatório dos cálculos dos comprimentos de onda da luz vermelha, verde e azul

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da internet de preenchimento do relatório do experimento:



<https://forms.gle/hrtgGGnpF17n71D67>

Tempo:

25 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes;

- Calculadora científica ou dispositivo com aplicativo de calculadora científica instalado;
- Papel, lápis e borracha.

Descrição:

Nesta atividade, os grupos de estudantes (até 5 integrantes) devem abrir a página do relatório dessa atividade através do QR Code ou link informado e preencher o relatório do experimento realizado na atividade anterior dessa aula.

Durante o preenchimento do relatório, para cada cor de LED do experimento os grupos de estudantes irão preencher os valores das cinco medições de tensão obtidos, calcular a média desses cinco valores, relacionar o valor da tensão média calculado com a energia E dos fótons da respectiva cor ($1V \equiv 1eV$), converter o valor da energia dos fótons de elétron-volt para Joule ($1eV \approx 1,6 \cdot 10^{-19} J$) e depois calcular o comprimento de onda da luz dessa cor ($\lambda = \frac{h \cdot c}{E}$).

No final do relatório, os estudantes comparam os valores calculados a partir do experimento com os valores tabelados dos resultados teóricos esperados e respondem sobre as possíveis diferenças encontradas entre teoria e prática.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados nos relatórios dos experimentos realizados para cada cor de LED pelas cinco medições de suas tensões, cálculo da sua tensão média, energia dos fótons e comprimentos de onda, além da produção escrita nas questões dissertativas. Para acessar essas informações, o(a) professor(a) utilizará a planilha que contém as respostas dadas pelos estudantes através do link a seguir:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/10g4IYrTaxVCw2LBVCuFji8u94Nb8x5vTLUB6gBrjt3I/edit?usp=sharing>

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para alterá-la conforme desejar. Após abrir essa planilha, as colunas C até J devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos grupos de estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.8 Aula 8: Espectro da radiação (AVA)

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da aula na internet:



<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/espectro-da-radiacao/aiv-introducao>

Objetivos específicos

- Entender a relação entre a temperatura de um objeto com sua cor;
- Calcular a intensidade de uma radiação a uma dada distância da fonte emissora;
- Compreender as interações da radiação solar com a atmosfera terrestre.

Conteúdos

- Radiação do corpo negro
- Princípio da conservação da energia da radiação;
- Principais gases da atmosfera terrestre e suas interações com a radiação solar;
- Radiação refletida, difusa e direta.
- Relação entre a latitude e a intensidade da radiação na superfície do planeta.

A.6.8.1 Atividade 1: Espectro da radiação do corpo negro

Tempo:

5 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes assistem um vídeo sobre radiação do corpo negro.

A.6.8.2 Atividade 2: Simulação sobre radiação do corpo negro (PhET)

Tempo:

10 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes interagem com o simulador de radiação do corpo negro do site do PhET e respondem um questionário do roteiro desta atividade.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pela quantidade de acertos no preenchimento do relatório da simulação realizada. Para acessar essas informações, o(a) professor(a) utilizará a planilha que contém as respostas dadas pelos estudantes através do link a seguir:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1dVDgDS-m1PkRdJhy5u8g7rCj89mEOIZASmjG_NLPfUs/edit?usp=sharing

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para alterá-la conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.8.3 Atividade 3: Irradiação da Terra

Tempo:

15 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes realizam a leitura de um texto explicativo sobre o princípio da conservação da energia da radiação e como esta radiação interage com a atmosfera da Terra.

A.6.8.4 Atividade 4: Questões de múltipla escolha sobre a energia da radiação

Tempo:

15 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes respondem a questões de múltipla escolha visando praticar os conceitos estudados nesta aula. Após terminar de responder o questionário, o(a) estudante pode visualizar seus acertos e erros, refletir sobre as respostas corretas e tentar responder novamente caso desejem.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pela quantidade de acertos nas respostas das questões de múltipla escolha. Para acessar essas informações, o(a) professor(a) utilizará a planilha que contém as respostas dadas pelos estudantes através do link a seguir:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1BqB-DLvZWB8sACSnGvqoDK56f541PMs14e0XJb-42rU/edit?usp=sharing>

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para alterá-la conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.9 Aula 9: Jogo de quiz sobre radiação solar

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página de comando do jogo na internet:



<https://play.kahoot.it/v2/?quizId=388c5030-b9e8-4ea5-8b62-46fb0e0eb848>

Objetivos específicos

- Exercitar os conhecimentos adquiridos sobre radiação solar.

Conteúdos

- Todo o conteúdo estudado sobre radiação solar

A.6.9.1 Atividade 1: Quiz sobre radiação solar

Tempo:

45 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Sala com recursos áudio-visuais, onde haja a disposição internet e uma TV com tela grande e entrada HDMI ou um projetor mais sistema de som;
- Um computador conectado a TV ou projetor;
- Um computador, tablet ou celular com acesso a internet para cada time de estudantes.

Descrição:

Para descrição de como utilizar a plataforma deste jogo veja a seção [A.5](#).

Avaliação:

Para descrição de como utilizar a plataforma deste jogo como avaliação dos estudantes veja a seção [A.5](#).

A.6.10 Aula 10: Energia fotovoltaica e heliotérmica (AVA)

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da aula na internet:



<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/energia-fotovoltaica-e-heliotermica/av-introducao>

Objetivos específicos

- Entender o que é uma célula fotovoltaica;
- Aprender as principais características de uma célula fotovoltaica;
- Conhecer alguns marcos históricos da utilização da energia solar heliotérmica.

Conteúdos

- Características básicas de células e módulos fotovoltaicas;
- Associação em paralelo e em série de células e módulos fotovoltaicos (Teoria);
- Alguns marcos históricos da utilização da energia solar heliotérmica.

A.6.10.1 Atividade 1: Painel solar fotovoltaico

Tempo:

5 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes assistem um vídeo sobre as principais características de células e módulos fotovoltaicas.

A.6.10.2 Atividade 2: Questões de múltipla escolha sobre painéis solares fotovoltaicos

Tempo:

20 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes respondem a questões de múltipla escolha visando praticar os conceitos estudados nesta aula. Após terminar de responder o questionário, o(a) estudante pode visualizar seus acertos e erros, refletir sobre as respostas corretas e tentar responder novamente caso desejem.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pela quantidade de acertos nas respostas das questões de múltipla escolha. Para acessar essas informações, o(a) professor(a) utilizará a planilha que contém as respostas dadas pelos estudantes através do link a seguir:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1sNdUfs2VMUxm_uUChjN0iSbFNTX04RktprTHQ6BBewQ/edit?usp=sharing

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para altera-lá conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.10.3 Atividade 3: Texto sobre alguns marcos históricos da energia solar

Tempo:

15 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Nessa atividade, os estudantes realizam uma leitura sobre alguns marcos históricos da utilização da energia solar heliotérmica.

A.6.10.4 Atividade 4: Questão dissertativa sobre semicondutores

Tempo:

5 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes respondem uma pergunta desencadeadora do assunto a ser estudado na próxima aula do AVA (materiais semicondutores), respondendo segundo seus conhecimentos prévios como acreditam que seriam as suas vidas e os objetos que utilizam no dia a dia sem a descoberta dos materiais semicondutores.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pelas suas produções escritas para responder a questão dissertativa da atividade. Para acessar a planilha dessas respostas, o(a) professor(a) utilizará o link a seguir:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1C9zDCeORgWb6KmMSKOCQ8DXhSg9eJk68HI2uTF0p-1Q/edit?usp=sharing>

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para altera-lá conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas

devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.11 Aula 11: Demonstrações e experimentos com módulos fotovoltaicos

Objetivos específicos

- Visualizar a utilização de módulos fotovoltaicos para captação da energia da luz e alimentação de circuitos eletroeletrônicos;
- Realizar procedimento experimental de associação em série e em paralelo de módulos fotovoltaicos.
- Aprender através de procedimento experimental a finalidade de se realizar a associação de módulos fotovoltaicos.

Conteúdos

- Associação em paralelo e em série de células e módulos fotovoltaicos (Prática);

A.6.11.1 Atividade 1: Demonstração com módulos fotovoltaicos

Tempo:

10 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Sala com uma mesa ou bancada para realização das demonstrações;
- Um kit com material experimental a ser utilizado na realização do experimento de associação de módulos fotovoltaicos;

Utilize o QR Code ou link do roteiro do experimento de associação de módulos fotovoltaicos (secção [A.6.11.2](#)) para consultar a lista dos itens existentes no kit de material experimental.

A seguir, estão sugeridos alguns materiais a serem utilizados nas demonstrações:

- Um (01) celular que possua conector de carga compatível com um dos multi-ectores do adaptador do cabo do módulo fotovoltaico.
- Três (03) LEDs difusos com diâmetro $5mm$, sendo um vermelho, um verde e um amarelo;

- Um (01) relógio tipo despertador;
- Um (01) mini motor elétrico retirado de algum brinquedo velho;
- Uma (01) ventoinha (cooler) de CPU;
- Uma (01) calculadora com um fio vermelho e outro preto soldados respectivamente nos terminais positivo e negativo do alojamento da pilha e algum tipo de terminal ou garras de jacaré das mesmas cores nas outras extremidades dos fios.

Nota: Dependendo dos equipamentos eletroeletrônicos que o(a) professor(a) já possuir para trabalhar, os materiais da lista anterior destinados unicamente para as demonstrações (relógio, motor, LEDs, ventoinha e calculadora), podem sofrer modificações.

Descrição:

A atividade consiste em demonstrar para os estudantes dispositivos eletroeletrônicos sendo alimentados pelos módulos fotovoltaicos. Para isso, primeiramente um dos módulos será utilizado para carregar um celular, depois para acender os LEDs, alimentar a calculadora, o relógio, o motor e por fim, os dois módulos são associados em paralelo para alimentar a ventoinha.

A fim de evitar a sobrecarga de energia nos LEDs, na calculadora ou no relógio quando ligados à um módulo fotovoltaico, é necessário que parte da área útil de captação de luz desse módulo seja bloqueada, pois esses equipamentos requerem uma demanda muito pequena de energia.

A.6.11.2 Atividade 2: Experimento de associação de módulos fotovoltaicos

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da internet com o roteiro do experimento de associação de módulos fotovoltaicos:



<https://drive.google.com/file/d/1UNW0XitLlKmc8uVdX6pJLt7YzpmTC7Vw/view?usp=sharing>

Tempo:

25 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Sala com mesa(s) ou bancada(s) para os grupos de estudantes realizarem o experimento;
- Um kit com material experimental para realização desse experimento para cada grupo de estudantes;
- Um roteiro do experimento impresso para cada grupo de estudantes ou computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes acessarem a página do roteiro na web.

Descrição:

Nesta atividade, os grupos de estudantes com até cinco integrantes, organizados para realização do procedimento experimental, devem seguir os passos do roteiro da atividade montando os circuitos do experimento e realizando as medições de tensão e corrente para verificarem na prática os resultados da realização de associações de módulos fotovoltaicos.

A.6.11.3 Atividade 3: Relatório das demonstrações e atividades experimentais

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da internet de preenchimento do relatório do experimento:



<https://forms.gle/JmzqkaDidF1oSTAd7>

Tempo:

10 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes;

Descrição:

Nesta atividade, os grupos de estudantes (até 5 integrantes) devem abrir a página do relatório dessa atividade através do QR Code ou link informado e preencher o relatório das demonstrações e dos experimentos realizados nas atividades anteriores dessa aula.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados nos relatórios das demonstrações e experimentos realizados sobre a captação da energia solar com os módulos fotovoltaicos. Será considerado na avaliação a produção escrita dos grupos de estudantes nas respostas das questões dissertativas, levantamento dos dados experimentais e nas análises feitas sobre a interpretação dos dados coletados. Para acessar essas informações, o(a) professor(a) utilizará a planilha que contém as respostas dadas pelos estudantes através do link a seguir:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1dWUtQ_4H5p0s1ouQNDJ-KATpBpPs9rGeR5CDYIzN3v0/edit?usp=sharing

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para alterá-la conforme desejar. Após abrir essa planilha, as colunas C até J devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos grupos de estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.12 Aula 12: Células e módulos fotovoltaicos (AVA)

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página da aula na internet:



<https://sites.google.com/view/energiadosol/aulas/celulas-e-modulos-fotovoltaicos/avi-introducao>

Objetivos específicos

- Entender as principais propriedades dos materiais metálicos, isolantes e semicondutores;
- Compreender os processos de dopagem de materiais semicondutores;

- Aprender a selecionar bons materiais para absorção de energia luminosa;
- Conhecer os processos de produção de módulos fotovoltaicos

Conteúdos

- Condutividade elétrica de metais, isolantes e semicondutores;
- Dopagem de semicondutores;
- Junção p-n;
- Teoria de bandas;
- Efeito fotovoltaico;

A.6.12.1 Atividade 1: Dopagem de semicondutores e o efeito fotovoltaico

Tempo:

8 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes assistem a dois vídeos explicativos sobre a dopagem de materiais semicondutores, a junção p-n de células fotovoltaicas e sobre o efeito fotovoltaico.

A.6.12.2 Atividade 2: Condutividade elétrica dos materiais e teoria de bandas

Tempo:

20 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes realizam a leitura de um texto explicativo sobre condutividade elétrica em metais, isolantes e semicondutores e sobre a teoria de bandas.

A.6.12.3 Atividade 3: Questões de múltipla escolha sobre células fotovoltaicas

Tempo:

10 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes respondem a questões de múltipla escolha visando praticar os conceitos estudados nesta aula. Após terminar de responder o questionário, o(a) estudante pode visualizar seus acertos e erros, refletir sobre as respostas corretas e tentar responder novamente caso desejem.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pela quantidade de acertos nas respostas das questões de múltipla escolha. Para acessar essas informações, o(a) professor(a) utilizará a planilha que contém as respostas dadas pelos estudantes através do link a seguir:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PJldLxQQQiei082BMRlgplScYgN2NidRNKzSTEX3xpI/edit?usp=sharing>

O(A) professor(a) poderá visualizar essa planilha on-line ou mesmo fazer download para alterá-la conforme desejar. Após abrir essa planilha, as suas quatro últimas colunas devem ser verificadas para identificar a escola, ano/série, turma e números de chamada dos estudantes de interesse que responderam o questionário.

A.6.12.4 Atividade 4: Fabricação de módulos fotovoltaicos

Tempo:

7 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Computador, tablet ou celular com acesso a internet para os estudantes.

Descrição:

Estudantes assistem um vídeo que demonstra os processos de produção envolvidos na fabricação de módulos fotovoltaicos.

A.6.13 Aula 13: Jogo de quiz sobre células e módulos fotovoltaicos

Utilize o QR Code ou link a seguir para direcionamento para a página de comando do jogo na internet:



<https://play.kahoot.it/v2/?quizId=74c58bbd-d137-42ad-817a-b1b8501e881e>

Objetivos específicos

- Exercitar os conhecimentos adquiridos sobre células e módulos fotovoltaicos.

Conteúdos

- Todo o conteúdo estudado sobre células e módulos fotovoltaicos

A.6.13.1 Atividade 1: Quiz sobre células e módulos fotovoltaicos

Tempo:

45 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

- Sala com recursos áudio-visuais, onde haja a disposição internet e uma TV com tela grande e entrada HDMI ou um projetor mais sistema de som;
- Um computador conectado a TV ou projetor;
- Um computador, tablet ou celular com acesso a internet para cada time de estudantes.

Descrição:

Para descrição de como utilizar a plataforma deste jogo veja a seção [A.5](#).

Avaliação:

Para descrição de como utilizar a plataforma deste jogo como avaliação dos estudantes veja a seção [A.5](#).

A.6.14 Aula 14: Aula final

Objetivos específicos

- Elaborar um mapa conceitual sobre Energia Solar a partir dos conhecimentos pós-instrução dos estudantes;

Conteúdos

Não aplicável

A.6.14.1 Atividade 1: Levantamento de conhecimentos pós-instrução

Tempo:

35 minutos

Recursos e/ou material de apoio:

Sala de informática, sala de aula com lousa e giz, quadro branco e marcador ou uma folha grande ou cartolina.

Descrição:

Para levantamento dos conhecimentos pós-instrução dos estudantes das turmas, solicitar aos estudantes que elaborem um mapa conceitual em uma atividade colaborativa com a turma, ou seja, todos os estudantes da turma trabalhando juntos na elaboração de um único mapa sobre o tema Energia Solar. Para isso os estudantes de cada turma podem utilizar um arquivo do *Google Drawing (Desenhos Google)* disponibilizado em uma nuvem para edição, lousa e giz, quadro branco e marcador ou mesmo uma folha grande ou cartolina, conforme preferência do(a) professor(a) ou facilidade para o desenvolvimento da atividade.

Avaliação:

Nessa atividade, os estudantes serão avaliados pela participação na elaboração do mapa conceitual pós-instrução.

A.6.15 Avaliações

Os estudantes serão avaliados continuamente nas diversas atividades realizadas nas aulas, como em suas produções escritas, respostas das questões de múltipla escolha, jogos de quiz, demonstrações e experimentos realizados, conforme descrito nas seções *Avaliação* existentes nas atividades das aulas.

A.7 Considerações Finais

Em uma das ideias iniciais desse trabalho, a qual não se mostrou viável para os estudantes das turmas da escola onde esse produto foi aplicado pela primeira vez, devido entre outros fatores a nem todos os estudantes possuírem um dispositivo com acesso a internet em casa para estudar, o(a) professor(a) que possuir turmas nas quais todos os estudantes possam realizar as aulas do AVA a distância e com antecedência as aulas presenciais poderá terminar a aplicação desse produto em cinco aulas a menos que a quantidade descrita na sequência didática desse material (Ver seção A.6), pois os estudantes poderão realizar as aulas do AVA com antecedência, para só então, se encontrarem presencialmente com o(a) professor(a) na escola para realizar as atividades necessariamente presenciais. Apesar de haverem seis aulas usando o AVA na sequência didática desse material, o(a) professor(a) conseguirá reduzir apenas cinco aulas com essa alteração, pois na primeira aula usando o AVA, existe um texto a ser trabalhado presencialmente com os estudantes, conforme descrito na atividade A.6.2.3.

Durante essa primeira aplicação do produto, por motivos diversos, nem todos os estudantes avançavam juntos na realização das atividades disponibilizadas. Era comum parte dos estudantes estarem fazendo uma determinada aula do AVA e outra parte fazendo outra, ou mesmo realizando algum experimento ou escrevendo algum relatório de uma demonstração. Isso foi interpretado como uma qualidade na forma como o material foi disponibilizado para os estudantes e como o produto foi aplicado, possibilitando aos estudantes poderem acompanhar o curso e fazerem as atividades disponibilizadas mesmo tendo faltado à alguma das aulas, pois as aulas usando o AVA ficaram disponíveis para realização em qualquer momento e local, e nos encontros presenciais os estudantes puderam esclarecer dúvidas, realizar os experimentos e escrever os relatórios.

Finalmente, como resultado dessa primeira aplicação do produto, foi verificada em uma pesquisa de satisfação uma avaliação positiva dos estudantes em relação a todas as partes do curso realizado, sendo também possível verificar a partir da comparação dos mapas conceituais de conhecimentos prévios e de pós-instrução que os estudantes elaboraram na primeira e última aula da sequência didática (Ver seção A.6.1 e seção A.6.14), que houve uma melhora significativa dos conhecimentos desses estudantes relacionados aos assuntos abordados no curso. Nota-se que estes estudantes melhoraram suas habilidades em relacionar os tópicos de energia solar estudados, sendo capazes de inter-relacionar assuntos relativos a produção da energia no Sol, sua transmissão pelo espaço e sua captação e utilização aqui na Terra.

A.8 Referências e Sugestões de Leitura

ABSOLAR, A. B. de E. S. F. Energia solar fotovoltaica ultrapassará a marca de 3.000 megawatts no brasil em 2019. 2019. Disponível em: <<http://absolar.org.br/noticia-/noticias-externas/energia-solar-fotovoltaica-ultrapassara-a-marca-de-3000-megawatts-no-brasil-em-2019.html>>

ALVES, E. G.; SILVA, A. F. da. Usando um led como fonte de energia. *Revista Física na Escola*, v. 9, n. 1, p. 26–28, 2008.

BRASIL, Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular - BNCC. Versão Final. 2018.

CAVALCANTE, M. A. et al. Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. *Revista Física na Escola*, v. 3, n. 1, p. 24–29, 2002.

COSTA, T. Q.; CHERPINSKI, U. da S. Medição da eficiência de uma célula fotovoltaica. *Revista Física na Escola*, v. 16, n. 2, p. 73–77, 2018.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. *Lições de Física de Feynman*. [S.l.]: Editora Bookman, 2008. Tradução Antônio José Roque da Silva e Sylvio Roberto Accioly Canuto. ISBN 978-85-7780-323-1 (v.3).

FISH, D.; POPE, D. Measuring planck's constant. In: . Perimeter Institute for Theoretical Physics PI, 2008. Produced by Conrad Entertainment Incorporation. Disponível em: <<https://www.perimeterinstitute.ca/>>.

GRIFFITHS, D. J. *Introduction to Quantum Mechanics*. 1 a . ed. [S.l.]: Editora Prentice-Hall, 1994. ISBN 0-13-124405-1.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física, Volume 4: Óptica e Física Moderna*. 8 a . ed. [S.l.]: LTC, 2009. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. ISBN 978-85-216-1608-5.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. *Energia e Meio Ambiente*. 3 a . ed. [S.l.]: Editora Thomson, 2003. Traduzido por Flávio Maron Vichi e Leonardo Freire de Mello. ISBN 85-221-0337-2.

IBGE, A. N. IBGE apresenta nova área territorial brasileira: 8.515.767,049 km². 2012. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14318-asi-ibge-apresenta-nova-area-territorial-brasileira-8515767049-km>>

KITTEL, C. *Introduction to Solid State Physics*. 8 a . ed. [S.l.]: Editora Prentice-Hall, 2005. ISBN 0-471-41526-X.

NUSENZVEIG, H. M. *Curso de Física básica - Vol. 4: Ótica, relatividade e Física quântica*. 1 a . ed. [S.l.]: Editora Blucher, 1998. ISBN 978-85-212-0163-2.

SMETS, A. H. et al. *Solar Energy, The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*. [S.l.]: UIT Cambridge Ltd, 2016. ISBN 978 1 906860 73 8 (ePub).

SOUZA, J. R. P. S. *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações para o Ensino Médio*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará, 2016. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_JoseRicardo.pdf>.

STUDART, N. A invenção do conceito de quantum de energia segundo Planck. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 4, p. 523–535, 2000.

STUDART, N. Caetano, o quantum de Planck e a expansão do universo. *Revista Física na Escola*, v. 2, n. 1, p. 23–24, 2001.